



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS EN FONDO EN LAS  
INMEDIACIONES DEL PUENTE MOTUPE**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Bach. Vasquez Idrogo Jann Franker**

**Asesor**

**MBA Ing. Serrepe Ranno Miriam Marcela**

**Línea de Investigación:**

**Ingeniería de Procesos - Ingeniería Hidráulica**

**Pimentel – Perú**

**2018**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN FONDO  
EN LAS INMEDIACIONES DEL PUENTE MOTUPE**

**Aprobado por:**

---

Dr. Ing. Omar Coronado Zuloeta  
**Presidente de Jurado de Tesis**

---

Ing. Guillermo Arriola Carrasco  
**Secretario de Jurado de Tesis**

---

Mg. Ing. Sócrates Pedro Muñoz Pérez  
**Vocal de Jurado de Tesis**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida y darme las fortalezas y oportunidades para lograr mis objetivos trazados.

### **A mis padres**

Guillermo Vásquez y Maribel Idrogo por sus consejos para mejorar día a día como una mejor persona y profesional, por el ejemplo de perseverancia y los valores que inculcaron en mi persona y el apoyo incondicional que me brindaron hasta cumplir mis metas y objetivos a pesar de todos los errores y tropiezos presentados en mi persona.

**Jann Franker**

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento a mis padres Guillermo y Maribel por el apoyo recibido en todo momento a lo largo de toda mi formación académica y el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a toda la plana docente por la educación de calidad recibida a lo largo de toda nuestra carrera universitaria. En forma muy especial a la asesora metodóloga MSc. Ana María Guerrero Millones, quien hasta después de haber finalizado la carrera, nos sigue apoyando para la titulación.

**El Autor**

## ÍNDICE GENERAL

PAGINA DE JURADOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1. Situación problemática .....	16
1.2. Formulación del problema .....	25
1.3. Objetivos.....	25
1.4. Justificación e importancia.....	26
1.5. Antecedentes de la investigación .....	27
1.6. Marco teórico.....	36
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>
2.1. Tipo y diseño de la investigación.....	75
2.2. Método de investigación.....	75
2.3. Población y muestra.....	76
2.4. Variables.....	76
2.5. Operacionalización de Variables .....	77
2.6. Hipótesis.....	79
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	79
2.8. Procedimientos para la recolección de datos .....	83
2.9. Plan de análisis estadístico e interpretación de datos.....	91
2.10. Principios éticos .....	91
2.11. Criterios de rigor científico .....	92
2.12. Validación y Confiabilidad de los instrumentos de los formatos creados	
93	
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
3.1. Levantamiento topográfico del lugar de estudio.....	95
3.2. Distribución granulométrica de los sedimentos en fondo tomados en campo.....	96

3.3. Estudio de las diferentes muestras de sedimentos en fondo tomadas en campo a través de los diferentes ensayos de laboratorio .....	99
3.4. Análisis de los resultados de laboratorio obtenidos a través de las diferentes ecuaciones para el estudio de transporte de sedimentos en fondo....	108
3.5. Desarrollo en el programa de Microsoft Excel cuadros comparativos de las respuestas obtenidas del estudio de sedimentos en fondo por sus diferentes ecuaciones.....	109
<b>IV. DISCUSIÓN .....</b>	<b>118</b>
4.1. Levantamiento topográfico .....	118
4.2. Análisis granulométrico .....	120
4.3. Ensayos de laboratorio .....	121
4.4. Análisis de los resultados obtenidos de las distintas ecuaciones del transporte de sedimentos .....	123
4.5. Desarrollo de tablas estadísticas comparando los resultados obtenidos de las ecuaciones de transporte de sedimentos en fondo.....	124
<b>V. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>126</b>
5.1. Conclusiones.....	126
5.2. Recomendaciones.....	127
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación para calcular la relación entre peso y volumen del transporte unitario de sedimentos. ....	41
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación para calcular el transporte total de sedimentos en peso. ....	42
<b>Ecuación 3.</b> Ecuación para calcular el transporte total de sedimentos en volumen. ....	42
<b>Ecuación 4.</b> Ecuación para calcular la Densidad .....	48
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación para calcular el Peso Especifico .....	48
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación para calcular la Gravedad Especifica .....	49
<b>Ecuación 7.</b> Ecuación para calcular la Densidad Relativa .....	50
<b>Ecuación 8.</b> Ecuación para calcular el Peso Específico Sumergido .....	50
<b>Ecuación 9.</b> Ecuación para calcular el Peso Específico de la Mezcla Agua Sedimento ..	50
<b>Ecuación 10.</b> Ecuación para calcular la Concentración de la Partícula .....	51
<b>Ecuación 11.</b> Ecuación para calcular la Concentración en Peso .....	51
<b>Ecuación 12.</b> Ecuación para calcular la Concentración en Volumen .....	52
<b>Ecuación 13.</b> Ecuación para calcular la Porosidad .....	52
<b>Ecuación 14.</b> Ecuación para calcular la Viscosidad cinemática del fluido .....	53
<b>Ecuación 15.</b> Ecuación para calcular la Caída de una Partícula .....	53
<b>Ecuación 16.</b> Ecuación propuesta por Schoklitsch para calcular la carga de fondo expresada en peso. ....	56
<b>Ecuación 17.</b> Ecuación propuesta por Schoklitsch para calcular la carga de fondo expresada en volumen. ....	56
<b>Ecuación 18.</b> Ecuación propuesta por Meyer – Meter y Müller para calcular la carga de fondo expresada en peso. ....	57
<b>Ecuación 19.</b> Ecuación propuesta por Meyer – Meter y Müller para calcular la carga de fondo expresada en volumen. ....	57
<b>Ecuación 20.</b> Ecuación para calcular la rugosidad debida a las partículas de sedimento en fondo plano. ....	58
<b>Ecuación 21.</b> Ecuación para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning. ....	58
<b>Ecuación 22.</b> Ecuaciones para calcular el parámetro de Shields. ....	58
<b>Ecuación 23.</b> Ecuación propuesta por Duboys y Straub si $\tau^* \leq 1.30$ .....	59
<b>Ecuación 24.</b> Ecuación propuesta por Duboys y Straub si $\tau^* > 20\tau^* C$ .....	59
<b>Ecuación 25.</b> Ecuación para calcular el número adimensional de Shields .....	59
<b>Ecuación 26.</b> Ecuación para hallar el esfuerzo cortante critico .....	60
<b>Ecuación 27.</b> Ecuación para hallar la densidad relativa de las partículas sumergidas ....	60
<b>Ecuación 28.</b> Ecuación propuesta por Levi .....	60
<b>Ecuación 29.</b> Ecuación para determinar la velocidad critica del flujo cuando $d/d_m \geq 60$ ..	61
<b>Ecuación 30.</b> Ecuación para determinar la velocidad critica del flujo cuando $d/d_m < 60$ ..	61
<b>Ecuación 31.</b> Ecuación para determinar el diámetro máximo de las partículas .....	61
<b>Ecuación 32.</b> Ecuación propuesta por Engelund y Hansen del transporte unitario total del fondo expresada en peso .....	62
<b>Ecuación 33.</b> Ecuación propuesta por Engelund y Hansen del transporte unitario total del fondo expresada en volumen .....	62
<b>Ecuación 34.</b> Ecuación para calcular el parámetro de Shields .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Nivel de agua en máximas avenidas en el río Motupe. ....	22
<b>Figura 2.</b> Estado actual del río Motupe aguas abajo del puente Motupe. ....	22
<b>Figura 3.</b> Estado actual del río Motupe aguas arriba del Puente Motupe. ....	23
<b>Figura 4.</b> Imagen satelital del área de estudio. ....	25
<b>Figura 5.</b> Perfilador acústico Doppler. ....	35
<b>Figura 6.</b> Formación de los sedimentos. ....	36
<b>Figura 7.</b> Origen del material de sedimentos. ....	38
<b>Figura 8.</b> Formas de transporte de sedimentos. ....	39
<b>Figura 9.</b> Tipos de transporte de sedimentos. ....	41
<b>Figura 10.</b> Tamices Estándar. ....	45
<b>Figura 11.</b> Ángulos de reposo de una partícula. ....	47
<b>Figura 12.</b> Muestreador de Sedimentos Helley – Smith. ....	54
<b>Figura 13.</b> Muestreador de Sedimentos US BM. ....	55
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo de procesos. ....	83
<b>Figura 15.</b> Estación total. ....	84
<b>Figura 16.</b> Vista panorámica del puente Motupe. ....	85
<b>Figura 17.</b> Toma de muestras de sedimentos en fondo. ....	86
<b>Figura 18.</b> Muestreador realizado por el alumno. ....	86
<b>Figura 19.</b> Muestreador realizado por el alumno. ....	87
<b>Figura 20.</b> Material de sedimentos seco. ....	88
<b>Figura 21.</b> Granulometría del material obtenido en campo. ....	88
<b>Figura 22.</b> Secado de material retenido en la malla N° 200. ....	89
<b>Figura 23.</b> Material fino humedecido en fiolas. ....	89
<b>Figura 24.</b> Peso sumergido de las partículas de sedimento. ....	90
<b>Figura 25.</b> Croquis del levantamiento topográfico del río Motupe. ....	95
<b>Figura 26.</b> Equipo topográfico – Estación Total. ....	96
<b>Figura 27.</b> Resumen de las distintas curvas granulométricas. ....	96
<b>Figura 28.</b> Tamizado de las muestras de sedimento. ....	97
<b>Figura 29:</b> Ecuación de mejor reajuste al lado derecho del puente. ....	109
<b>Figura 30:</b> Ecuación de mejor reajuste en el eje del puente. ....	110
<b>Figura 31:</b> Ecuación de mejor reajuste al lado izquierdo del puente. ....	111
<b>Figura 32:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $0.5B$ aguas arriba al lado derecho del puente. ....	112
<b>Figura 33:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $0.5B$ aguas arriba en el eje del puente. ....	113
<b>Figura 34:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $0.5B$ aguas arriba al lado izquierdo del puente. ....	114
<b>Figura 35:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $B$ aguas arriba al lado derecho del puente. ....	115
<b>Figura 36:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $0.5B$ aguas arriba en el eje del puente. ....	115
<b>Figura 37:</b> Ecuación de mejor reajuste a una distancia $0.5B$ aguas arriba al lado izquierdo del puente. ....	116
<b>Figura 38.</b> Curvas de nivel obtenidas de Google Earth. ....	118

<b>Figura 39.</b> Curvas de nivel obtenidas con GPS.....	119
<b>Figura 40.</b> Curvas de nivel obtenidas con Estación Total. ....	119
<b>Figura 41.</b> Cuarteo de material de agregado grueso y fino para ensayo de granulometría. .....	120
<b>Figura 42.</b> Material de agregado grueso y fino en su totalidad para ensayos de granulometría.....	120
<b>Figura 43.</b> Peso específico del agregado fino.....	121
<b>Figura 44.</b> Peso específico del agregado grueso. ....	122
<b>Figura 45.</b> Peso específico del agregado grueso. ....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Valores Usuales del Peso Específico de Partículas Sólidas.</i> .....	42
<b>Tabla 2.</b> <i>Clasificación de los sedimentos por tamaño.</i> .....	44
<b>Tabla 3.</b> <i>Numeración de tamices Sistema U.S Estándar</i> .....	46
<b>Tabla 4.</b> <i>Rango de Valores del Peso Específico de Partículas Sólidas.</i> .....	49
<b>Tabla 5.</b> <i>Valores Usuales del Peso Específico de Partículas Sólidas.</i> .....	49
<b>Tabla 6.</b> <i>Variable Independiente.</i> .....	77
<b>Tabla 7.</b> <i>Variable Dependiente.</i> .....	78
<b>Tabla 8.</b> <i>Normativa</i> .....	82
<b>Tabla 9.</b> <i>Identificación de los distintos diámetros en el puente.</i> .....	98
<b>Tabla 10.</b> <i>Identificación de los distintos diámetros a una distancia <math>D=0.5B</math> de la longitud del puente</i> .....	98
<b>Tabla 11.</b> <i>Identificación de los distintos diámetros a una distancia <math>D= B</math> de la longitud del puente</i> .....	99
<b>Tabla 12.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas en el puente Motupe que pasan la malla N°4.</i> .....	99
<b>Tabla 13.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia <math>D= 0.5B</math> de la longitud del puente Motupe que pasan la malla N°4.</i> .....	100
<b>Tabla 14.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia <math>D= B</math> de la longitud del puente Motupe que pasan la malla N°4.</i> .....	100
<b>Tabla 15.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas en el puente Motupe retenidas en la malla N°4.</i> .....	101
<b>Tabla 16.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia <math>D= 0.5B</math> de la longitud del puente Motupe retenidas en la malla N°4.</i> .....	101
<b>Tabla 17.</b> <i>Valores de peso específico en <math>g/cm^3</math> para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia <math>D= B</math> de la longitud del puente Motupe retenidas en la malla N°4.</i> .....	102
<b>Tabla 18.</b> <i>Contenido de humedad promedio en el puente.</i> .....	102
<b>Tabla 19.</b> <i>Contenido de humedad promedio a una distancia <math>0.5B</math> aguas arriba del puente.</i> .....	103
<b>Tabla 20.</b> <i>Contenido de humedad promedio a una distancia <math>B</math> aguas arriba del puente.</i> .....	104
<b>Tabla 21.</b> <i>Parámetros hidráulicos</i> .....	105
<b>Tabla 22.</b> <i>Transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo – Puente Motupe, para las muestras extraídas por fondo que pasan la malla N°4.</i> .....	106
<b>Tabla 23.</b> <i>Transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo – Puente Motupe, para las muestras extraídas por fondo retenidas en la malla N°4.</i> .....	107
<b>Tabla 24.</b> <i>Resultados de las distintas ecuaciones en fondo del transporte de sedimentos.</i> .....	108
<b>Tabla 25.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste en el lado derecho del puente</i> .....	109
<b>Tabla 26.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste en el eje del puente</i> .....	110
<b>Tabla 27.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste en el lado izquierdo del puente</i> .....	110

<b>Tabla 28.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>0.5B</math> aguas arriba en el lado derecho del puente</i> .....	111
<b>Tabla 29.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>0.5B</math> aguas arriba en el eje del puente</i> .....	112
<b>Tabla 30.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>0.5B</math> aguas arriba en el lado izquierdo del puente</i> .....	113
<b>Tabla 31.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>B</math> aguas arriba en el lado derecho del puente</i> .....	114
<b>Tabla 32.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>B</math> aguas arriba en el eje del puente</i> .....	115
<b>Tabla 33.</b> <i>Ecuación de mejor reajuste a una distancia <math>B</math> aguas arriba en el lado izquierdo del puente</i> .....	116

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Estudio Hidrológico .....	132
<b>Anexo 2.</b> Modelamiento Hidráulico con HEC RAS – Puente Motupe .....	144
<b>Anexo 3.</b> Entrevista realizada al Ingeniero Especialista en Ingeniería Hidráulica .....	154
<b>Anexo 4.</b> Ensayos de Laboratorio .....	155
<b>Anexo 5.</b> Ecuaciones Empíricas para el Cálculo del Sedimento en el Puente Motupe ..	155
<b>Anexo 6.</b> Planos del Levantamiento Topográfico del Área de Estudio .....	155

## RESUMEN

A lo largo de la cuenca del río Motupe se encuentra ubicado el Puente Motupe con una longitud de 75 m, el principal problema si se presentara un fenómeno del Niño o un nuevo Niño Costero ante los escasos estudios de transporte de sedimentos las estructuras se van a ver bastante afectadas por los sedimentos removidos y evitando el libre cauce del río. Esta investigación tuvo como objetivo: Comparar los modelos de transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe, empleando un diseño experimental propiamente diseño, realizando levantamiento topográfico, distribución granulométrica, estudio y análisis de los diferentes sedimentos, mediante ecuaciones de Engelund y Hanzen y Schoklistch, con las que se obtuvo el mejor ajuste para el estudio de transporte de sedimentos en fondo. Se conocieron los distintos desniveles que presenta el río Motupe a causa de los volúmenes de sedimentación que se generan, sus secciones transversales, y las distintas pendientes que se presentan a lo largo del río Motupe.

**Palabras clave:** sedimento, perfil de flujo, modelo hidráulico, caudal.

## ABSTRACT

Along the river basin Motupe is located the Bridge Motupe with a length of 75 m, the main problem if you submit a phenomenon of child or a new child before the scarce coastal sediment transport studies the structures are going to be quite affected by the sediments removed and avoiding the free course of the river. This research aims to: Compare the models of sediment transport in fund in the vicinity of the bridge Motupe, using an experimental design properly design, making a topographic survey, particle size distribution, study and analysis of the different sediments, using equations of Engelund and hanzen and Schoklistch, with which they obtained the best setting for the study of sediment transport in the background.

The different slopes of the Motupe River were known because of the sedimentation volumes that are generated, its cross sections, and the different slopes that occur along the Motupe River.

**Keywords:** sediment, workflow profile, hydraulic model, flow rate.

# I. INTRODUCCIÓN

## **I.INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Situación problemática**

#### **1.1.1. A nivel internacional**

##### **Ecuador**

En la zona donde la lluvia alcanzo su máxima intensidad llego a caer hasta 160 litros de agua por metro cuadrado y una marea alta de 6 metros, cuando en condiciones normales cae 25 litros por metro cuadrado y una marea alta de 5 metros y a causa de estas lluvias fuertes dejo 3 muertos y bastantes familias damnificadas con sus hogares totalmente destruidos.

Debido a las fuertes lluvias ha hecho que aumente el nivel del agua y por la presencia de los sedimentos en los ríos o canales han taponeado las salidas de los colectores de agua produciendo así las inundaciones.

Otro gran problema ocurrido por las fuertes lluvias y las crecidas de las mareas no existe un sistema de drenaje que funcione pero se puede reducir los daños a través de obras como el dragado de los ríos o ubicación de muros en sus orillas.

Se considera que la presa Daule – Peripa le quita cantidad y velocidad al agua lo cual causa mayores cantidades de sedimentación y estar más frecuentes a las inundaciones.

En el rio Babahoyo sus aguas corren con más rapidez y crean una pared de agua que deja sedimento por eso es que se forma el islote El Palmar por eso es que en la ciudad del Cabildo con la presencia del cambio climático se están estudiando planes ante las inundaciones a mediano y largo plazo porque no solo basta con dragar el material de sedimentos en los ríos si no también se podrían construir diques, lagunas, renovación de tuberías, represas. (EL Universo, 2013)

El Río Guayas – Ecuador, fue la vía más importante del comercio exterior de Guayaquil, en la actualidad su navegabilidad es afectada por una serie de

problemas y por proyectos existentes que a lo largo de los años agravan cada vez más su situación.

Uno de los principales problemas existentes en la Cuenca del Río Guayas es la sedimentación.

De acuerdo a lo publicado en años anteriores por la (CEDEG), en la Cuenca del Río Guayas se genera más de 15 millones de toneladas métricas de sedimentos anuales.

En febrero del 2013 la Secretaria Nacional del Agua (Senagua) y el Consejo Provincial del Guayas firmaron un convenio para dragar 290.000 m<sup>3</sup> de sedimento, porque por este proceso de sedimentación se ha reducido el área de los cauces, puede provocar inundaciones y perjudica la capacidad de transporte en los ríos.

El Servicio de Dragas de la Armada ha desarrollado los estudios de levantamiento topográfico, el desbroce de la especie vegetal y la adquisición de los materiales geo sintéticos importados. Este proyecto se ha programado que se debe completar en 3 años, donde todos los sedimentos que se draguen servirán para implementar el relleno hidráulico en los sectores de Duran y Guayaquil.

Guayaquil ha sido testigo y presenciado durante muchos años el continuo crecimiento del Islote “El Palmar” a más de 16 hectáreas sin que se haga nada para tratar de evitar el descenso de la profundidad del río Guayas provocada por las sedimentaciones.

La Cámara Marítima del Ecuador (CMAE) ha convocado a varias reuniones para conocer más sobre la problemática existente. En estos conversatorios, han estado presentes representantes del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), del Servicio de Dragas, de la Asociación de Terminales Privados del Ecuador (ASOTEP) y de las empresas afiliadas a CMAE. Así como también delegados de la Capitanía del Puerto de Guayaquil y de las empresas de Practicaje, quienes han expuesto sus puntos de vista e inquietudes sobre este tema. (Río, 2013)

## **Colombia**

En Colombia existen 200 estaciones hidrológicas las cuales solo 150 miden la cantidad y concentración de sedimentos.

Los ríos han perdido su capacidad de autorregularse y causa de esto es donde aparecen las inundaciones y los desbordamientos, siendo los ríos de Magdalena, Cauca y la Orinoquia los más afectados, este fenómeno ha producido cerca de 340 millones de toneladas de sedimentos cada año según diferentes tipos de estudios realizados en dichas zonas.

Omar Vargas nos menciona que los sedimentos son procesos normales en los ríos pero es anormal cuando aumentan en cantidades y generan cambios.

Cuando se pierde el suelo produce mayor cantidad de sedimentos que van a parar los ríos y esto influye en las dinámicas de los sistemas hídricos contribuyendo a aumentar los procesos de inundación en el territorio nacional donde el 40% del área del país presenta algún grado de erosión y el 3% del área del país presenta grados severos de erosión.

Los sedimentos transportados por los ríos de Colombia son materiales como arcillas y arena también transportan material más grueso como gravas y gravilla que son depositados y caen al fondo del lecho del río.

Por motivo de la degradación de las montañas se han venido deteriorando los ríos, especialmente a la altura de Calamar, Bolívar en el río Grande del Magdalena hay se han registrado más de 160 millones de toneladas de sedimentos que nos sirve como ejemplo del mal manejo de los suelos en Colombia. Y como consecuencia de este mal manejo de los suelos y acumulación de sedimentos los ríos han venido perdiendo sus capacidades de regulación y se desbordan fácilmente por no tener la profundidad de almacenamiento de agua. (RCN Radio, 2017)

## 1.1.2. A nivel nacional

### Piura

El reservorio de Poechos en todo su tiempo de funcionamiento ha soportado 2 Fenómenos del Niño, por lo que la sedimentación anual se incrementó 10 veces más de lo que se pronosticó en el diseño inicial, por estos 2 fenómenos es que el reservorio se vio afectado profundamente porque debido a ellos el reservorio se ha elevado muy por encima de lo que se predijo según los estudios.

Los sedimentos actualmente ocupan gran capacidad del volumen de embalse, afectando al reservorio en su capacidad de almacenamiento porque se diseñó para un volumen útil de 885 MMC y en la actualidad solo almacena 405.52 MMC, según la batimetría del 2014, esta disminución en el almacenamiento del agua se debe a que los sedimentos actualmente ocupan 479.48 MMC.

La reducción de la capacidad de agua almacenada está ocasionando serios problemas en el sector agrícola. El año pasado, en un momento determinado del año la capacidad de almacenamiento del reservorio fue de 79 MMC, por lo que las siembras de arroz casi fueron declaradas en emergencia por la falta de capacidad para irrigar las tierras.

Esta problemática está haciendo que los agricultores recurran a medios vandálicos para la obtención del recurso hídrico. Los técnicos del reservorio se han percatado que los agricultores cortan las cadenas metálicas de  $\frac{3}{4}$ " y luego las amarran para que aparentemente no se note el daño. De esta manera pasan de 200 l/s designados a un promedio de 400 l/s en la toma donde se hace el robo, o de una altura de canal de 8 cm a 55 cm. (Enríquez-beck, 2016)

## **Tumbes**

El puente Francos lamentablemente está destinado a colapsar, donde el jefe regional del Instituto Nacional de Defensa Civil el señor Manuel Boggio Luna. Recalco que el problema de sedimentación en el mismo puente Francos como en el río Tumbes, está obstaculizando el libre curso de las aguas, lo que afecta considerablemente a la infraestructura.

La sedimentación que hoy presenta el puente debió ser retirada por la empresa contratista de la defensa ribereña, pero no se ha retirado la sedimentación por eso que hoy en día se presentan estos problemas.

En similar situación se encuentra el puente de Tumbes, porque también presenta problemas de sedimentación, lo que ocasiona que la crecida de las aguas debiliten su infraestructura. (Vianca Zeña, 2015)

En Perú se cuenta con 77 presas hidráulicas en donde la mayoría de estas ha disminuido hasta un 50 % de su volumen de almacenar agua debido al fenómeno de sedimentación.

En la represa de Poechos en sus inicios de operación se almacenaba un volumen de 885 millones de m<sup>3</sup> de agua y debido al aumento de sedimentación en dicha represa hoy en día solo tiene capacidad para almacenar un volumen de 442 millones de m<sup>3</sup>, y si no afrontamos este problema dentro de unos 25 años no tendríamos agua para la agricultura y dejaremos sin irrigar los diferentes valles de dicha zona.

La Autoridad Nacional del Agua está evaluando la ejecución de un proyecto de aproximadamente 800 millones de dólares que mejoraría su volumen de almacenamiento de agua de las diferentes represas de nuestro país. Empezando con las represas del norte que son las que han mostrado problemas en su capacidad de volumen de almacenamiento de agua como son: Poechos, Gallito Ciego y Tinajones. (Rpp, 2013)

### 1.1.3. A nivel local

La construcción de puentes es una de las bastantes obras que se pueden hacer en la rama de ingeniería y en especial los que están más propensos a sufrir daños por sedimentación por estar ubicados a orillas de los ríos.

Si bien se realizan todo tipo de estudios para realizar un proyecto de ingeniería en la rama de hidráulica pero no se están tomando en cuenta los estudios de transportes de sedimentos que pueden afectar a las estructuras así como también afectan la circulación del río.

El mayor transporte de sedimentos se genera en las máximas avenidas, donde al aumentar el caudal también se incrementan las partículas sedimentadas. Donde si no se realizan estudios de transporte de sedimentos y se produjera un nuevo fenómeno del niño o como recientemente ocurrió un niño costero estas estructuras se van a ver altamente perjudicadas.

A lo largo de la cuenca del río Motupe se encuentra ubicado el Puente Motupe con una longitud de 75 m. donde se ha podido observar a distancias no muy largas que presenta bastante problema de sedimentación y entre los materiales que se ha podido observar tenemos gravas y arenas.

El principal problema si se presentara un fenómeno del niño o un nuevo niño costero ante los escasos estudios de transporte de sedimentos las estructuras se van a ver bastante afectadas por los sedimentos removidos y evitando el libre cauce del río.

Actualmente el río Motupe no tiene un mantenimiento adecuado para mantener su cauce del río y a causa de esto viene siendo explotado por los propios habitantes como cantera para material de construcción porque sus partículas cumplen con los requisitos mínimos para dicho proceso, con mayor frecuencia el material utilizado es aguas arriba del puente Motupe.



**Figura 1.** Nivel de agua en máximas avenidas en el río Motupe.  
**Fuente:** [www.rpp.com.pe](http://www.rpp.com.pe)



**Figura 2.** Estado actual del río Motupe aguas abajo del puente Motupe.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3.** Estado actual del río Motupe aguas arriba del Puente Motupe.  
**Fuente:** Elaboración propia

El bajo aporte en el río Chancay debido a la falta de lluvias en las partes altas como en las provincias de Chota y Santa Cruz, es motivo de preocupación porque el reservorio de Tinajones tiene un nivel de embalse por debajo de los 30 millones de  $m^3$  habiendo llegado así a su reserva técnica, por lo que ha disminuido el circulante de agua en el valle a  $4.9 m^3/s$  de los cuales 2 son destinados para el consumo humano a cargo de EPSEL.

Ante esta situación el PEOT realiza un monitoreo permanente y redobla las acciones de control a lo largo del río y canales evitando que los agricultores informales sustraigan agua y perjudiquen la escasa captación.

Por el bajo nivel del agua se realiza una batimetría para que nos permita estimar el nivel de los sedimentos asentados en el embalse, considerando que el último estudio batimétrico del año 2007 arrojó que existe una sedimentación del orden de 7.6%.

Sin embargo se tiene que precisar que por ser un reservorio lateral el nivel de sedimentos no tiene un porcentaje alto, sin embargo antes del canal alimentador se tiene un desarenador que nos permite aliviar en algo el depósito de sedimentos que se transportan al embalse.

Si bien el nivel de sedimentación es bajo el PEOT en su calidad de operador hidráulico, viene operando de la mejor manera la presa pero a un nivel técnico, incluyendo en esta el problema de sedimentación que también se debe a la falta de limpieza. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2016)

#### **1.1.4. Objeto de estudio**

Estudiar el transporte de sedimentos en fondo que se generan en las inmediaciones del puente Motupe con la finalidad de estimar la cantidad de material que se genera en un determinado tiempo, para así tener en cuenta este estudio al momento de realizar una obra en un tiempo futuro.

#### **1.1.5. Delimitaciones del estudio**

La presente investigación se realizó en la cuenca del río Motupe tomando como referencia las inmediaciones del puente Motupe ubicado en la región Lambayeque.

De toda la cuenca del río Motupe se realizó el levantamiento topográfico de 1 kilómetro para el desarrollo de la siguiente investigación 500 metros aguas arriba y 500 metros aguas abajo tomando como referencia el puente Motupe para conocer la topografía del área que se estudió.

El puente Motupe se encuentra ubicado a 79 km del norte de la ciudad de Chiclayo; limita por el norte con los distritos de Olmos y Salas, por el este con el distrito de Salas y Chochope, por el sur con el distrito de Jayanca y por el oeste con el distrito de Olmos.



## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo comparar el transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Comparar los modelos de transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe.

### 1.3.2. Objetivos específicos

Realizar el levantamiento topográfico del lugar de estudio.

Estudiar las diferentes muestras de sedimentos en fondo tomadas en campo a través de los diferentes ensayos de laboratorio

Analizar los resultados de laboratorio obtenidos a través de las diferentes ecuaciones para el estudio de transporte de sedimentos en fondo.

Determinar la ecuación de mejor ajuste para estimar el transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación técnica**

La presente investigación nos permitió medir la cantidad de transporte de sedimentos en fondo en el río Motupe en las inmediaciones del puente Motupe.

El análisis de la presente investigación implicó el uso de fórmulas empíricas que nos permitieron determinar el transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe, pero estas muestras fueron tomadas a través de un muestreador manual para la toma de sedimentos en fondo.

El estudio de las muestras de sedimentos en fondo se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Señor de Sipan, entre los estudios tenemos: análisis granulométrico, peso específico, densidad.

### **1.4.2. Justificación social**

Es de vital importancia realizar el estudio de transporte de sedimentos en las inmediaciones del puente Motupe porque es una estructura que permite satisfacer las necesidades de los seres humanos como pueden ser el transporte y la comunicación. Y realizando un estudio de sedimentación se va prevenir daños futuros a la estructura del puente y así vamos a poder seguir realizando nuestras actividades con normalidad.

### **1.4.3. Justificación ambiental**

El estudio de transporte de sedimentos es importante porque nos sirve para saber la cantidad de sedimentos transportados que se generan ya sea de forma natural o artificial que se producen en una cuenca tomando como referencia las inmediaciones del puente Motupe.

La cantidad de transporte de sedimentos dependen de varios factores como pueden ser: las fuertes temperaturas, la intensidad de las lluvias, fuertes vientos, características de la cuenca; estos factores tomaran

fuerza de acuerdo a la estación climática que nos encontremos en nuestro país.

#### **1.4.4. Justificación económica**

Al realizar el estudio de transporte de sedimentos en fondo en el río Motupe en las inmediaciones del puente Motupe, se va obtener los resultados de las cantidades de material sedimentado en dicha zona y se tendrá en cuenta al momento en que se desee elaborar un proyecto a lo largo del río y no se sobre valorizaran dichos proyectos, además de que también se va evitar los daños a las comunidades aledañas a la zona, se evitara las pérdidas de transporte y comunicación así como también evitar la pérdida de la agricultura y la ganadería.

### **1.5. Antecedentes de la investigación**

#### **1.5.1. A nivel internacional**

##### **Colombia**

El estudio de transporte de sedimentos es uno de los muchos temas de la rama de ingeniería hidráulica que ha venido generando muchas motivaciones de estudio. Las poblaciones ubicadas a orillas de los ríos con el fin de obtener agua de manera fácil y rápida intentaron plasmar varias formas de hipótesis y opiniones sobre las formas en que se puede comportar dicho líquido elemento, siendo los sedimentos y los materiales solidos las principales pautas de estudio.

Los diferentes obstáculos que se presentan en un río al momento en que transportan sedimentos no nos van a permitir definir con una sola fórmula las cantidades de sedimentación transportadas y de solucionar todos los problemas y situaciones que se presenten por sedimentación.

La gran variedad de metodologías para el cálculo de sedimentación están basadas en diferentes ecuaciones empíricas que se han desarrollado a través de experimentos y al momento de optar por una ecuación debemos

tener cuidado porque sus resultados no pueden ser absolutos, sino simplemente ser unas aproximaciones.

La gran variedad de software que existe en el mercado para modelar el transporte de sedimentos nos van a servir de mucha utilidad porque nos van a permitir estudiar el movimiento de las partículas sedimentadas y las modificaciones que pueden sufrir los cauces de los ríos.

Para lograr un adecuado estudio sobre el transporte de sedimentos utilizando cualquier modelo de estudio la base está en tener bien calibrado el modelo y verificarlo adecuadamente.

La presente investigación nos permitió tener un mejor conocimiento sobre como procesar los datos de los resultados obtenidos a través de las distintas ecuaciones de transporte de sedimentos haciendo uso del programa Microsoft Excel. (TATIANA CONSTANZA, 2014)

## **Ecuador**

La lluvia como productora de la escorrentía superficial, genera procesos erosivos sobre la superficie del terreno que dan origen a las redes de canales dinámicos que aseguran casi todo el tiempo el transporte de esta escorrentía.

La geomorfología de los sistemas de drenaje fluvial constituye una herramienta poderosa para el estudio de las cuencas hidrográficas. No depende de un conjunto cerrado de técnicas, sino que se apoya en otras disciplinas anexas, tales como la hidráulica, la hidrología, la geología, la hidroclimatología, la agrología, entre otras.

Por lo regular, un cauce aluvial cambia todo el tiempo, cambio que se realiza en planta y en perfil debido a las fuerzas hidráulicas generadoras de esfuerzos cortantes sobre el lecho y los taludes del cauce.

Una modificación en el cauce de un río seguro producirá cambios hacia aguas arriba y hacia aguas abajo del sitio donde inicialmente sucedió el

cambio. Muchas veces estos cambios tienen ocurrencia en grandes distancias y siempre se producirán por las mismas fuerzas que involucran necesariamente el clima, factores geológicos y geotécnicos hidrológicos e hidráulicos, geométricos, ecológicos, biológicos.

Un ingeniero debe conocer en el momento de realizar los diferentes cálculos hidráulicos y de socavaciones que se originan en un puente y cualquier tipo de obra similar que esté relacionada con los comportamientos del agua en los ríos, el movimiento del agua, el movimiento de los sedimentos, sus características de tamaño, forma, densidad, peso específico, granulometría, cohesión, ángulo de reposo, variación del tamaño a lo largo del cauce, procedencia, leyes de distribución.

Para la modelación de un sistema natural de agua se han desarrollado diversos tipos de software como puede ser el programa HEC – RAS donde a través de este programa se puede modelar diversos tipos de flujos y de transporte de sedimentos.

En la presente investigación nos permitió tener un conocimiento sobre el uso del programa Hec – Ras para el modelamiento hidrológico del río Motupe y estimar la cantidad de sedimentos que se producen para distintos caudales. (“Andrés Fabián Latacunga Chiluita .,” 2014)

A través de un programa de monitoreo, con estaciones de control estratégicamente ubicadas a lo largo de la microcuenca, se realiza un estudio de la calidad del agua del Río Tabacay empleando un índice de calidad ICA.

En el río Tabacay se presenta deterioro, debido a la presencia de la descarga de aguas residuales, industriales y extracción minera en la periferia del cauce, esto afecta significativamente los usos del agua, sobre todo el destinado al consumo humano.

La alta presencia de sedimentos en la zona de San Antonio, nos promovió a realizar estudios con material de sedimentos en el fondo del lecho en los distintos puntos de monitoreo, llegando a determinar aproximadamente las tasas de transporte de sedimentos de fondo, mediante las correlaciones empíricas y semiempíricas.

El aporte de este trabajo es obtener un diagnóstico actualizado sobre el estado del Río Tabacay, así como también establecer las medidas de control y prevención de la contaminación. Con estos resultados se entregará a la empresa EMAPAL, al Ministerio del Medio Ambiente, a la SENAGUA, e HIDROPAUTE (encargadas de la gestión y administración del recurso), una herramienta de gestión, útil en su proceso de toma de decisiones.

Históricamente la subcuenca del Río Tabacay es una de las más afectadas por factores geológicos, topográficos, sociales, etc. Así lo confirma el plan de Manejo Ambiental realizado en el año 2003 por el PROMAS; pero trece años más tarde la condición no ha cambiado; se ha hecho muy poco para la recuperación de la calidad del agua.

Por la geología de la zona, existe un tipo de suelo duro e indeseable para la agricultura compuesto por arcillas expansivas. Este tipo de suelo absorbe agua y produce un efecto expansivo importante, y cuando la elimina, el suelo se agrieta y los agricultores identifican como el momento de adicionar los nutrientes para alimentar al suelo con materia orgánica y aumentar su productividad; no obstante muchos de los nutrientes adicionados, pueden contaminar el agua subterránea de la zona.

El arrastre natural de sólidos suspendidos en esta subcuenca es debido a, movimientos de grandes masas de tierras (suelo inestable), y por la geología superficial son de naturaleza sedimentaria, que se meteorizan rápidamente.

Se puede concluir que con la estimación de la carga del fondo del lecho se puede llegar a obtener la carga total de sedimentos que el río transporta

en cada una de las secciones analizadas, ya que el transporte de fondo representa de un 20 al 25% de la carga total.

Para ríos de montaña, existe una gran variación en la tasa de transporte de carga de lecho, debido a que la pendiente longitudinal del cauce, afecta las condiciones de umbral (es decir, el inicio de la carga de lecho); por lo que se debe tener en cuenta la pendiente del lecho, ya que el movimiento de sedimentos cambia con una pendiente empinada, al igual que la distribución de velocidad cerca del lecho.

La presente investigación nos permitió realizar un estudio ordenado sobre el transporte de sedimentos y mirar hacia un futuro sobre los problemas que pueden causar en una cuenca o a las estructuras aledañas si es que no se lleva un control y monitoreo adecuado del problema causado por sedimentación. (PAUL FERNANDO, 2016)

### **1.5.2. A nivel nacional**

#### **Lima**

En los ríos con altos contenidos de material sedimentado como es el caso del río Inambari la principal preocupación fue establecer cual serían los efectos a nivel regional de las alteraciones de los diferentes ciclo de generación de partículas de sedimentos.

Una vez cerrado el embalse, el caudal va disminuir su velocidad y va producir como efecto que la mayoría del material sedimentado (en fondo, saltación o suspensión) quede almacenados en el fondo del embalse. Cuando la tasa de sedimentación dentro del embalse presenta un nivel muy elevado, es posible que los ductos de ingresos a las turbinas por donde usualmente el agua es liberada para generar energía quede bloqueado, causando como efectos la disminución de su tiempo de operación de la central hidroeléctrica y efectos económicos del proyecto.

Por diferentes estudios de campo se han estimado la descarga de sedimentos en el cauce principal en el río Inambari y sus atribuyentes, y a través de este material tomado como muestra nos permite saber las cantidades de material sedimentado que ingresan en el reservorio y la disminución de su volumen de almacenamiento del río Inambari.

Las distintas muestras tomadas durante agosto del 2002 y marzo del 2012 nos permitieron saber la cantidad de sedimentos acumulados de los 134 ríos y quebradas que recorren a la cuenca del Inambari.

A través de un modelo digital de elevaciones y topografía del lugar se estimó las pendientes medias en todos los puntos que se tomaron las muestras y las dimensiones geográficas del embalse y de cada una de las quebradas que recorren hacia el embalse.

A través de diferentes estudios se llegó a calcular que se almacenan 6'096,699 toneladas de sedimentos al año producidos por todas las quebradas que recorren hacia el embalse.

A través de la presente investigación nos permitió estimar la cantidad de sedimentos que se generan en el lecho de un río o embalse a través del estudio de topografía se pudo estimar la tasa de crecimiento anual de sedimentación que se produce. (Forsberg, 2013)

Los ríos Puyango –Tumbes y Zarumilla forman dos cuencas de montaña tropical que se originan en el Ecuador y terminan su recorrido en el Perú, ambas son la principal fuente de agua dulce y sedimentos para el Santuario Nacional de Manglares de Tumbes. Las altas concentraciones de sedimentos en el norte del Perú son altamente estacionales y ocurren con gran frecuencia durante eventos extremos como el mega El Niño (1982 – 83 y 1997 – 98) cambiando la geomorfología y la bioquímica en la comunidad del manglar así como daños a las infraestructuras existentes. El conocimiento para monitorear y cuantificar el transporte de sedimentos en el Perú es aún desconocido, limitado por la escasa

información y la gran inversión que se requiere. Actualmente en la ingeniería fluvial se vienen aplicando fórmulas empíricas para estimar el gasto sólido total.

En el año 2004 el observatorio HYBAM inició los registros continuos de material en suspensión en la estación El Tigre (río Puyango – Tumbes). Mediante el Proyecto Manglares de Tumbes desarrollado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) con financiamiento del Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo de Canadá se inició el muestreo estratégico de sedimentos en suspensión y de fondo en las estaciones El Tigre y La Coja (Río Zarumilla) durante el año 2013 – 2014.

Se cuantifico el transporte de sedimentos de fondo y en suspensión mediante datos observados y comparados con los estimados a partir de fórmulas empíricas.

A partir de la caracterización del transporte del lecho fluvial de fondo mediante el uso del ADCP (Perfilador de Corriente Acústico Doppler) y el muestreador Helley Smith ha sido posible establecer una metodología de muestreo de sedimento de fondo el cual combina la selección del equipo muestreador, el monitoreo, la frecuencia de muestreo, así como el posterior procesamiento en laboratorio y cálculos en gabinete.

La dinámica del transporte de sedimentos en suspensión y de fondo en la cuenca Puyango - Tumbes (estación El Tigre) y Zarumilla (estación La Coja) está relacionada con su ubicación, geomorfología, uso de suelo, factores climáticos como la precipitación, escorrentía, eventos extraordinarios como El Niño y su influencia antrópica. Siendo predominado por los sedimentos en suspensión.

Para la cuenca Puyango – Tumbes, en la estación El Tigre, se obtuvo un gasto sólido total promedio histórico ( $Q_{st}$ ) igual a 1.6 millones de toneladas anuales, de los cuales el 98% se transporta en suspensión (1.57 millones de toneladas anuales) y un 2% en fondo (0.032 millones de toneladas anuales).

Para la cuenca Zarumilla en la estación La Coja, se obtuvo un gasto sólido total promedio histórico ( $Q_{st}$ ) igual a 0.1 millones de toneladas anuales de los cuales el 75% se transportan en suspensión (0.075 millones de toneladas anuales) y un 25% en fondo (0.025 millones de toneladas anuales).

Se aprecia un aporte importante de sedimento de fondo en la cuenca Zarumilla a la altura de la estación La Coja relacionado principalmente al tipo de composición granulométrica. En el caso de la estación El Tigre las acumulaciones pluviales están compuestas por gravas arenosas y arenas gravosas con inclusiones de canto rodado en su composición. Sin embargo, a la altura de la estación La Coja las acumulaciones granulares están compuestas principalmente por arenas gruesas, material uniforme con mayor predisposición a ser transportados.

En la presente investigación nos permitió tener un mejor conocimiento sobre el uso de las ecuaciones empíricas para el estudio de transporte de sedimentos y poder realizar el procesamiento de datos adecuadamente. (JANET BRÍGIDA, 2015)

### **1.5.3. A nivel local**

A nivel local no se encontraron investigaciones respecto al tema de transporte de sedimentos, sin embargo la presente tesis pretende ser una iniciativa para futuras investigaciones.

### **1.5.4. Estado del arte**

#### **Argentina**

Los diferentes investigadores de la Universidad Nacional del Litoral plantean realizar trabajos utilizando velocímetros acústicos que principalmente van estar establecidos con el efecto Doppler.

Ricardo Szupiany, es un investigador de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, nos manifestó sobre las diferentes tecnologías y sobre el novedoso sistema acústico de efecto Doppler, que vienen siendo planteados y diseñados de manera correcta para medir la velocidad del agua y que nos servirían para plasmar la cantidad de partículas sedimentadas y con estos resultados solucionar los diferentes problemas que son causados por las partículas de sedimentos en canales, ríos, presas y diferentes obras hidráulicas.

El perfilador Acústico Doppler tiene lo último en tecnología para medir el caudal y la cantidad de material sedimentado en el cauce de un río y la principal ventaja que nos brinda este perfilador acústico doppler es el bajo costo y la rapidez con que se va poder medir los caudales y la cantidad de partículas de sedimentos. Una vez tomadas las partículas de material sedimentado se va a analizar y estudiar con un análisis de laboratorio rápido y fácil que también nos brinda el perfilador acústico y a través de esos resultados podremos saber con bastante rapidez y precisión la cantidad de material sedimentado para tener en cuenta antes de realizar cualquier proyecto como pueden ser canales, carreteras, embalses, puentes, etc. (Radio UNR, 2015)



**Figura 5.** Perfilador acústico Doppler  
**Fuente:** [www.radio.unr.edu.ar](http://www.radio.unr.edu.ar)

## 1.6. Marco teórico

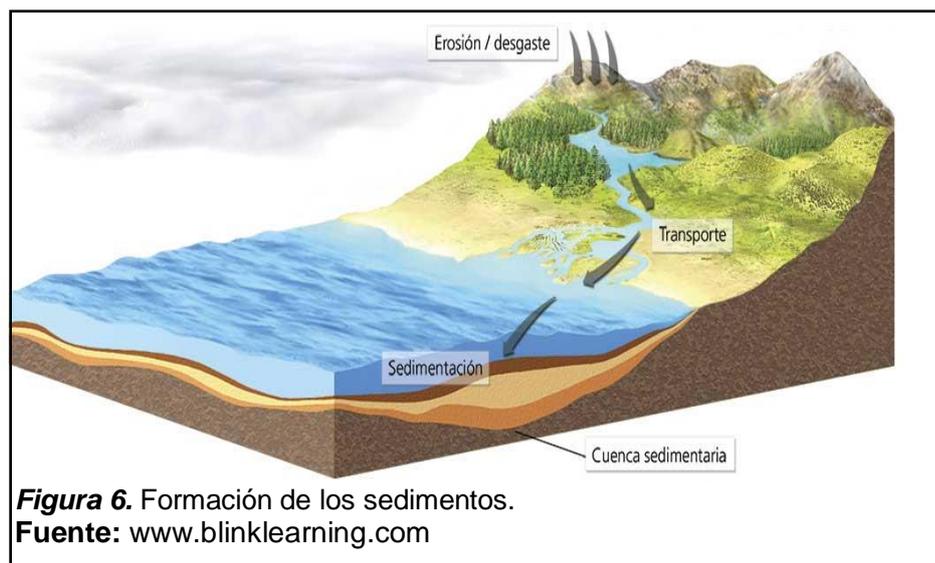
### 1.6.1. Bases teóricas

#### 1.6.1.1. Definición de Sedimentos

Obtienen el nombre de sedimentos los materiales sólidos que se acumulan sobre la superficie formada por la degradación del suelo y rocas transportados por los vientos y por las aguas que escurren; y son depositados en los cauces de los ríos.

Por su manera de comportarse las partículas sedimentadas se puede diferenciar dos tipos de transporte de sedimentos: el de fondo y el de suspensión.

Realizando los estudios de transporte de sedimentos en un río, el transporte de sedimento que se produce en fondo mayormente son partículas de mayor volumen y peso como pueden ser gravas y arenas; en cambio el transporte de sedimentos en suspensión por ser de menor volumen y menor peso presenta características de material más finos como limos y arcillas.



#### 1.6.1.2. Origen de los sedimentos

No es posible indicar con total precisión el origen de los sedimentos procedentes de los suelos y las rocas, que llegan a un río acarreado por el viento y por el agua; pero para un mejor estudio vamos a clasificarlo en dos formas de origen como son naturales y artificiales.

#### **1.6.1.2.1. Naturales**

El suelo esta compuestos por diferentes tipos de capas delgadas y frágiles que experimentan fenómenos como vientos y lluvias, durante las lluvias mientras más fuerte sea la intensidad de la lluvia al momento de chocar con el suelo logran desprender pequeñas partes del suelo y por la acción del viento este lo arrastra y levanta desde las llanuras hasta que caen a las corrientes de los ríos.

#### **1.6.1.2.2. Artificiales**

El mismo hombre las origina muy frecuentemente destruyendo el terreno natural a través de la explotación de canteras, la construcción de carreteras, canales, presas hidráulicas; donde al realizar estas acciones se busca el desarrollo de una región pero se desprenden y son removidos grandes volúmenes de material dejándolos sueltos facilitando su movimiento hasta el lecho de los ríos.

#### **1.6.1.3. Clasificación del transporte de sedimentos**

La clasificación del transporte de sedimentos que se puede generar en un río puede darse por dos motivos: Por el modo de transporte y por el origen del material.

##### **1.6.1.3.1. Por el modo de transporte**

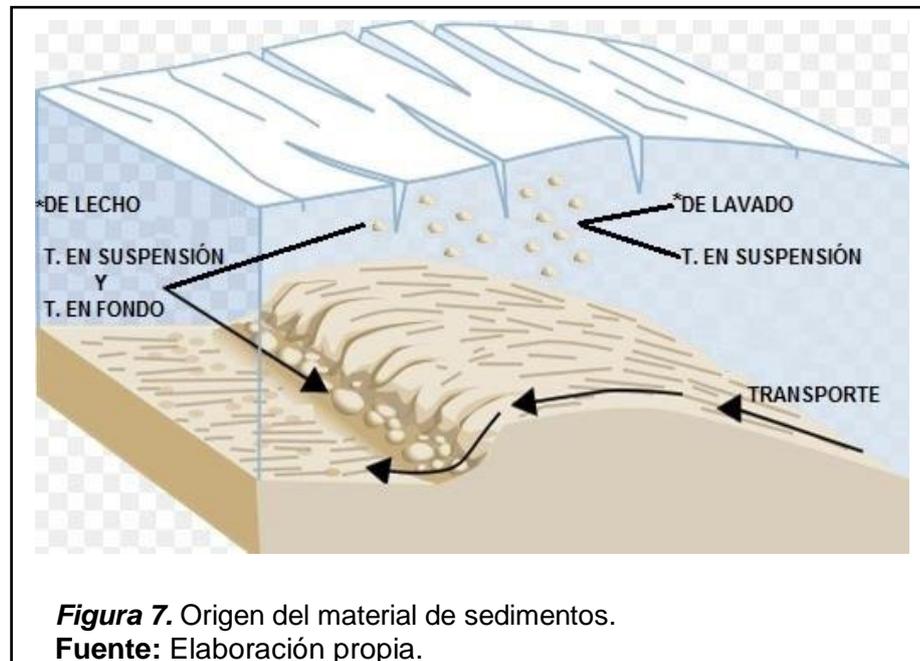
Las partículas de sedimento se pueden transportar en el lecho de un río por dos formas en suspensión guiados por el flujo del río y en fondo que se van a trasladar de un lugar a otro a través del flujo del río ya sea rodando, saltando o deslizándose.

##### **1.6.1.3.2. Por el origen del material**

El material sedimentado puede tener su origen de dos formas: De lecho o de lavado.

El material de lavado vienen hacer las partículas muy finas como limos o arcillas y van hacer transportadas en suspensión, donde las partículas que tengan un diámetro menor de 0.0625 mm serán consideradas como partículas de lavado y las partículas

superiores a este diámetro serán consideradas como material de lecho que vendrían hacer las gravas y arenas transportadas en fondo.



#### 1.6.1.4. Formas del transporte de sedimentos

Como se ha venido desarrollando durante el desarrollo de la presente investigación y analizando distintos temas sobre transporte de sedimentos se ha llegado a definir que el transporte de sedimentos en fondo se da de dos formas por rodadura o por saltación. Y el transporte de sedimentos en suspensión que va depender generalmente de la turbulencia y del caudal que se produce en el río.

##### 1.6.1.4.1. Transporte por rodadura

El transporte de sedimentos por rodadura generalmente son las piedras y se van a transportar rodando de un lugar a otro por su mismo peso y por la cantidad de caudal que transporta el río, generalmente su transporte es en fondo.

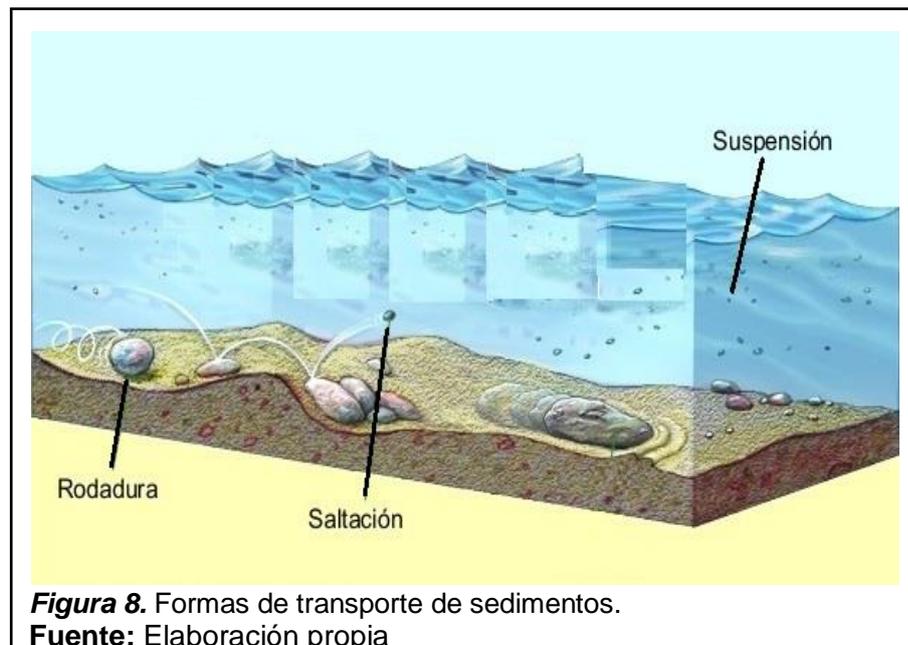
##### 1.6.1.4.2. Transporte por saltación

El transporte por saltación se da cuando las partículas de sedimento son apartadas del fondo ya sea por la corriente del río o corrientes de aire trasladándose de un lugar a otro generando

un efecto de saltos hasta depositarse nuevamente en el fondo y así sucesivamente, en este transporte de saltación encontramos material como gravas.

#### 1.6.1.4.3. Transporte por suspensión

El transporte de sedimentos por suspensión nos indica que las partículas sedimentadas no tienen ningún contacto con el fondo del lecho del río debido a las características que presenta como son su peso, diámetro, densidad; y en este tipo de transporte generalmente encontramos a las arenas.



**Figura 8.** Formas de transporte de sedimentos.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.6.1.5. Tipos de transporte de sedimentos

##### 1.6.1.5.1. Arrastre en la capa de fondo ( $G_B$ )

Las partículas de sedimentos que se producen en fondo dependen principalmente de la característica hidráulica que presenta el río, así como también de las diversidades geométricas del lecho del río y su propiedad física del material sedimentado en fondo, donde estos materiales son arrastrados por la corriente de agua dentro de la capa de fondo, donde el espesor según Einstein es igual a dos veces el diámetro de la partícula.

#### **1.6.1.5.2. Transporte del fondo en suspensión (GBS)**

Viene hacer el material sedimentado que se produce en fondo pero que va ser transportado en suspensión debido a la corriente y nivel de caudal que presente el río en dicho momento.

Cuando se tiene poca turbulencia del caudal en el río se va generar poco transporte de sedimentos del fondo en suspensión debido al poco nivel de caudal como también al tamaño del material, caso contrario cuando se presentase un mayor nivel de turbulencia de caudal se va presentar bastante intercambio entre las partículas de fondo en suspensión.

#### **1.6.1.5.3. Transporte total del fondo (GBT)**

El transporte total del material en fondo que se produce en un determinado tiempo vendría hacer la sumatoria total que se ha producido del transporte por arrastre en la capa de fondo más el transporte de fondo en suspensión, y se identifica con la siguiente expresión.

$$G_{BT} = G_B + G_{BS}$$

#### **1.6.1.5.4. Transporte de lavado (GL)**

El transporte de lavado generalmente proviene de la erosión del suelo de la cuenca generado por las gotas de las lluvias y por la erosión del mismo río, se originan en su mayoría aguas arriba de la cuenca. Este tipo de transporte viene a estar conformado por material muy fino que pasa la malla N° 200 y va ser transportado en suspensión es decir no tiene ningún contacto con el fondo del río.

#### **1.6.1.5.5. Transporte en suspensión (GS)**

Cuando realizamos nuestra toma de muestras de material sedimentado la manera más práctica de obtener la cantidad de transporte de sedimentos en suspensión es a través del tamizado, donde las partículas que van a quedar retenidas en la malla N° 200 son las partículas por lavado y las que pasan son partículas de material en fondo.

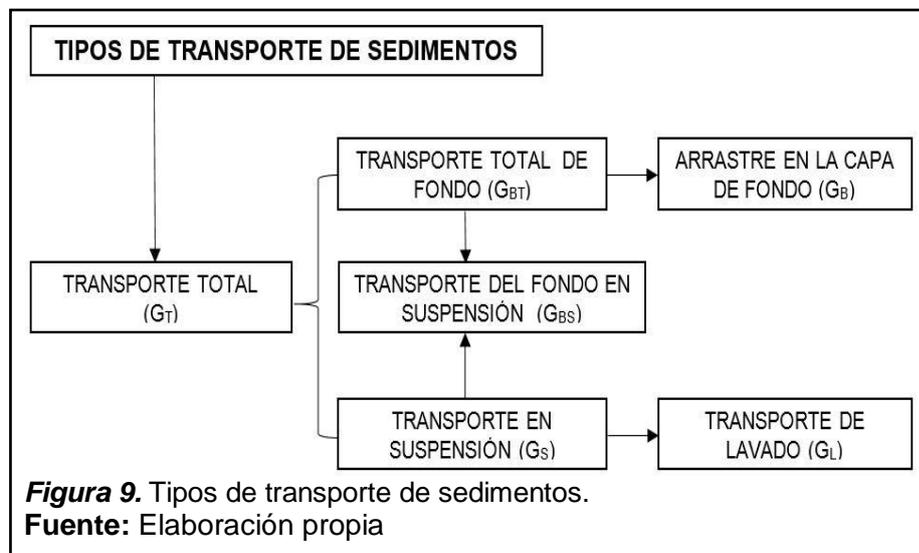
Las partículas de sedimentos que son transportadas en suspensión se va estimar por la sumatoria de la cantidad de transporte de fondo en suspensión más el transporte por lavado y se entiende por la siguiente expresión.

$$G_S = G_{BS} + G_L$$

#### 1.6.1.5.6. Transporte total (GT)

El transporte total de sedimentos que se produce en un rio viene hacer la sumatoria total de todos los tipos de transporte de sedimentos ya sea en fondo o lavado y la expresamos de la siguiente manera.

$$G_T = G_S + G_B$$



El transporte unitario de sedimentos se expresa en peso ( $g_x$ ) o en volumen ( $s_x$ ).

**Ecuación 1.** Ecuación para calcular la relación entre peso y volumen del transporte unitario de sedimentos.

$$g_x = \gamma_s s_x$$

$g_x$  = Transporte unitario de sedimentos expresado en peso [kg/s-m] o [N/s-m]

$s_x$  = Transporte unitario de sedimentos expresado en volumen [ $m^3/s-m$ ]

El subíndice depende del tipo de transporte de sedimentos, tal como se ve en la tabla 1.

El transporte total de sedimentos se obtiene así:

**Ecuación 2.** Ecuación para calcular el transporte total de sedimentos en peso.

$$g_x = g_x B$$

$g_x$  = Partículas transportadas expresadas por peso [kg/s] o [N/s]

$B$  = Ancho del río

**Ecuación 3.** Ecuación para calcular el transporte total de sedimentos en volumen.

$$S_x = S_x B$$

$s_x$  = Partículas transportadas expresadas por volumen [ $m^3/s$ ]

$B$  = Ancho del río

**Tabla 1.**  
*Valores Usuales del Peso Específico de Partículas Sólidas.*

Forma de Transporte	Kg/s	N/s	$m^3/s$
Transporte de lecho en el fondo o carga de fondo	$G_{bb}$		$S_{bb}$
Transporte de lecho en suspensión o carga en suspensión	$G_{bs}$		$S_{bs}$
Transporte total de lecho o carga de material de fondo	$G_b$		$S_b$
Transporte de lavado o carga de lavado	$G_l$		$S_l$
Transporte en suspensión o carga total en suspensión	$G_s$		$S_s$
Transporte total o carga total de sedimentos	$G_t$		$S_t$

**Fuente:** (Flores & Álvarez, 1996)

En la tabla anterior nos muestra las diferentes formas de transporte de sedimentos indicando sus unidades, índices y sub índices, donde el sub índice depende al tipo de transporte de sedimentos.

#### **1.6.1.6. Propiedades de los sedimentos**

Entre los diferentes tipos de diferencias que nos permite definir la forma en que se generan, se transportan y se depositan los sedimentos dependen del nivel del caudal y de las propiedades de los sedimentos. A continuación estudiaremos cada uno de sus propiedades de los sedimentos.

##### **1.6.1.6.1. Tamaño**

Es la propiedad más importante para caracterizar el grano del sedimento, donde las diferencias del tamaño definen la diferenciación del comportamiento del sedimento. Para precisar la clasificación de sedimentos por su tamaño observemos la tabla 2.

**Tabla 2.**  
*Clasificación de los sedimentos por tamaño*

<b>GRUPO</b>	<b>CLASE</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Piedras	Muy grande	2,048 a 4,096
	Grande	1,096 a 2,048
	Mediana	512 a 1,024
	Pequeña	256 a 512
Cantos	Grande	128 a 256
	Pequeña	64 a 128
Gravas	Muy gruesa	32 a 64
	Gruesa	16 a 32
	Mediana	8 a 16
	Fina	4 a 8
	Muy fina	2 a 4
Arena	Muy gruesa	1.000 a 2.000
	Gruesa	0.500 a 1.000
	Mediana	0.250 a 0.500
	Fina	0.125 a 0.250
	Muy fina	0.062 a 0.125
Limo	Gruesa	0.031 a 0.062
	Mediana	0.016 a 0.031
	Fina	0.008 a 0.016
	Muy fina	0.004 a 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002 a 0.004
	Mediana	0.001 a 0.002
	Fina	0.0005 a 0.001
	Muy fina	0.00024 a 0.0005

**Fuente:** (Flores & Álvarez, 1998)

En la tabla anterior nos muestra los diferentes tipos de tamaño de los sedimentos, y a partir de esa tabla vamos a poder identificar qué tipo de material es el que se está transportando en el lugar de estudio.

#### **1.6.1.6.2. Distribución Granulométrica**

El análisis granulométrico en el cauce de un río se obtiene tomando muestras de partículas de sedimentos en puntos específicos indicados en los planos de perfil longitudinal y secciones transversales, estos planos han sido realizados a través de un levantamiento topográfico.

El análisis granulométrico se realiza con varios fines pero los principales son la determinación de la rugosidad del lecho del río y la distribución granulométrica de las partículas transportadas, ver tabla 3.



**Figura 10.** Tamices Estándar.  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.**  
*Numeración de tamices Sistema U.S Estándar*

<b>Número</b>	<b>Abertura</b>
4"	101.60
2"	50.80
1"	25.40
1/4"	19.10
1/2"	12.70
3/8"	9.52
3	6.35
4	4.76
6	3.36
8	2.38
10	2
12	1.68
16	1.19
20	0.84
30	0.59
40	0.42
50	0.297
60	0.25
70	0.21
100	0.149
140	0.105
200	0.074
270	0.053
400	0.037

**Fuente:** (Boletín Vías Unal Manizales, n.d.)

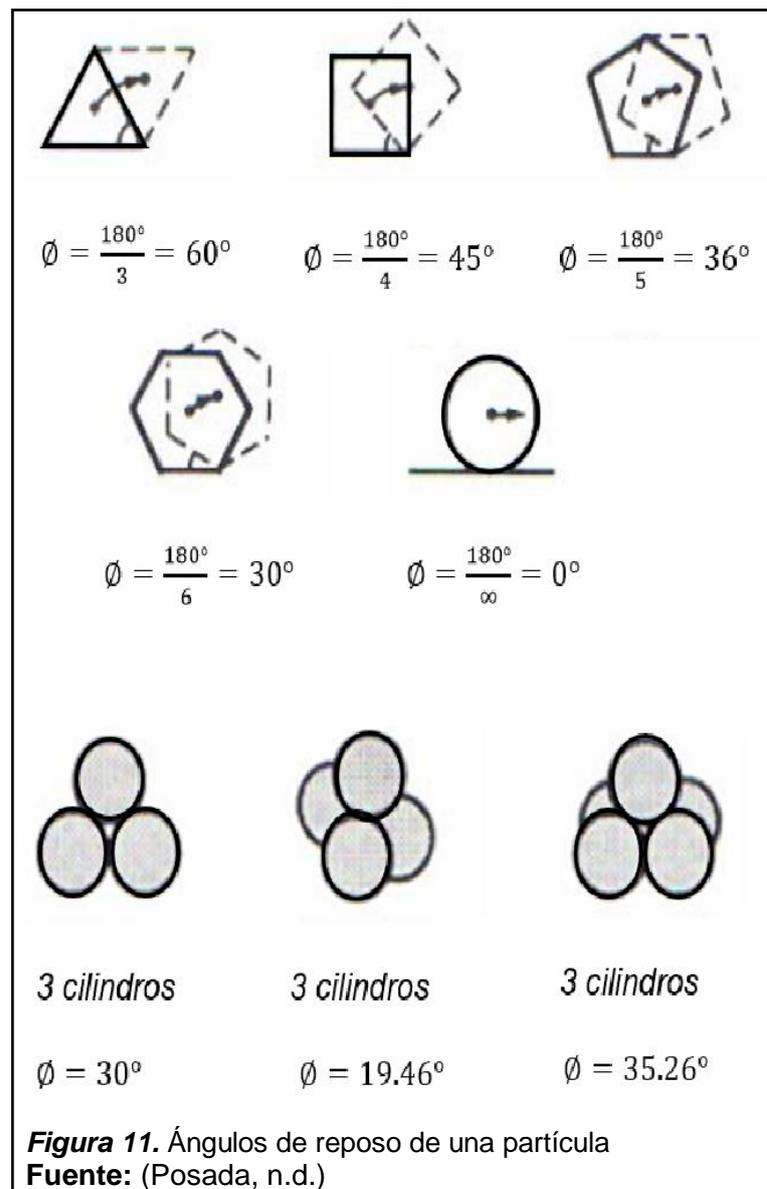
En la tabla anterior nos muestra los números de tamices con sus respectivas aberturas en mm, estos tamices nos van a permitir desarrollar la granulometría del material obtenido en campo.

### 1.6.1.6.3. Forma de la Partícula

Es la propiedad que nos permite definir los modos en que se mueven las partículas y se especifica por su redondez, esfericidad y factor de forma.

### 1.6.1.6.4. Ángulo de Reposo

Está en función de las diferentes formas que tienen las partículas. (Ver figura 11).



#### 1.6.1.6.5. Densidad

Para materiales sólidos, son las relaciones que existen entre las masas y sus volúmenes de las diferentes partículas.

**Ecuación 4.** Ecuación para calcular la Densidad

$$\rho_s = \frac{M}{V}$$

Donde:

$\rho_s$  = Densidad SI [kg/m<sup>3</sup>]

$M$  = Masa [kg]

$V$  = Volumen [m<sup>3</sup>]

SI = Sistema Internacional de Unidades

#### 1.6.1.6.6. Peso Específico

Se obtiene por la relación que existe entre el peso y su volumen o también se define por el producto entre la densidad y la gravedad.

**Ecuación 5.** Ecuación para calcular el Peso Especifico

$$\gamma_s = \frac{P}{V}$$

$$\gamma_s = g\rho_s$$

$\gamma_s$  = Peso Específico de la Partícula

SI [kg/S<sup>2</sup>-m<sup>2</sup>] o [N/m<sup>3</sup>]

$P$  = Peso de la partícula [N]

$g$  = Aceleración de la Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

**Tabla 4.**  
*Rango de Valores del Peso Específico de Partículas Sólidas.*

<b>Material</b>	$\gamma_s \left( \frac{N}{m^3} \right) SI$
<b>Piedras(guijarros)</b>	18,000 a 28,000
<b>Gravas</b>	21,000 a 24,000
<b>Arenas</b>	26,000 a 27,000

**Fuente:** (Flores & Álvarez, 1987)

En la tabla 4 nos muestra la identificación del tipo de material que es transportado en el lugar de estudio pero a través del peso específico de estas partículas.

**Tabla 5.**  
*Valores Usuales del Peso Específico de Partículas Sólidas.*

<b>Parámetro</b>	<b>SI</b>
$\rho_s$	<b>2650 kg/m<sup>3</sup></b>
$\gamma_s$	<b>2600 N/m<sup>3</sup></b>

SI = Sistema Internacional de Unidades.

**Fuente:** (Flores & Álvarez, 1987)

En la tabla 5 obtenemos los valores del peso específico pero a través de la relación que tiene con la densidad.

#### **1.6.1.6.7. Gravedad Específica**

La gravedad específica (G), lo obtenemos a través de las relaciones de las densidades de cada una de las partículas entre la densidad del agua destilada a 4°C.

**Ecuación 6.** Ecuación para calcular la Gravedad Especifica

$$G = \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{\gamma_s}{\gamma}$$

#### 1.6.1.6.8. Densidad Relativa

**Ecuación 7.** Ecuación para calcular la Densidad Relativa

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

$\Delta$  = Densidad relativa.

$\rho$  = Densidad del agua (En SI,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$\gamma$  = Peso específico (En SI,  $\gamma_w = 9810 \text{ N/m}^3$ )

#### 1.6.1.6.9. Peso Específico Sumergido

Lo obtenemos a través de las diferencias existentes de los pesos específicos de las partículas del material sedimentado y del agua.

**Ecuación 8.** Ecuación para calcular el Peso Específico Sumergido

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma$$

#### 1.6.1.6.10. Peso Específico de la Mezcla Agua Sedimento ( $\gamma_m$ )

Cuando el caudal transporta partículas de sedimento, va diferir los pesos específicos ya sea para aguas claras como para aguas con partículas de sedimento y se calcula a través de la siguiente ecuación.

**Ecuación 9.** Ecuación para calcular el Peso Específico de la Mezcla Agua Sedimento

$$\gamma_m = \gamma + \frac{V_s - \rho}{V_m} (\gamma_s - \gamma)$$

$V_s$  = Volumen de sedimento de peso específico

$V_m$  = Volumen de la mezcla

#### 1.6.1.6.11. Concentración de la Partícula

Son las cantidades de material sedimentado retenidas en los moldes de retención de líquidos, los cuales podemos obtener a través de las comparaciones entre la concentración en pesos o concentraciones en volúmenes. La concentración para el agua lo encontramos a través de la ecuación 7 y lo expresamos en partes por millón (ppm).

**Ecuación 10.** Ecuación para calcular la Concentración de la Partícula

$$1ppm = 10^{-6} \frac{m^3}{m^3} = \frac{ml}{m^3}$$

#### A) Concentración en Peso

Existe una gran variedad de métodos para mencionar la concentración en peso, pero en el presente trabajo vamos a utilizar la fórmula en donde relacionamos los pesos secos del sedimento con la cantidad total de volumen obtenido en las diferentes muestras.

**Ecuación 11.** Ecuación para calcular la Concentración en Peso

$$C_s = \frac{W_s}{V_m} = \frac{\gamma_s V_s}{V_m}$$

$V_s$  = Volumen de sedimento de peso específico

$V_m$  = Volumen de la mezcla

$C_s$  = Concentración de sedimento en suspensión (en peso)

#### B) Concentración en Volumen

Lo vamos a obtener a través de las relaciones entre los volúmenes de las partículas de nuestra muestra y los volúmenes totales de las mismas muestras.

**Ecuación 12.** Ecuación para calcular la Concentración en Volumen

$$C_s = \frac{V_s}{V_m} = \frac{\gamma_m w_s}{\gamma_s w_m}$$

$C_s$  = Concentración de sólidos

$V_s$  = Volumen de sólidos

$V_m$  = Volumen de la muestra

$w_s$  = Peso de sólidos

$w_m$  = Peso de la muestra

$\gamma_s$  = Peso específico de los sólidos

$\gamma_m$  = Peso específico de la muestra

#### 1.6.1.6.12. Porosidad

Lo vamos a definir por las relaciones entre los volúmenes de vacíos y los volúmenes de sedimentos.

**Ecuación 13.** Ecuación para calcular la Porosidad

$$n = \frac{V_v}{V_s}$$

$V_v$  = Volumen de vacíos

$V_s$  = Volumen de sólidos

#### 1.6.1.6.13. Viscosidad cinemática del fluido ( $\nu$ )

**Ecuación 14.** Ecuación para calcular la Viscosidad cinemática del fluido

$$\nu = \frac{u}{g}$$

$u$  = Viscosidad dinámica

$g$  = Viscosidad cinemática =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s para agua a 20°C

#### 1.6.1.6.14. Velocidad de Caída de una Partícula

Son las máximas velocidades que adquieren las partículas cuando caen libremente sobre el agua y dependen de los diferentes tipos de pesos, formas, tamaños, densidades del agua y temperatura.

A través de la ecuación 12 calcularemos las distintas velocidades de caída de una partícula (Flores & Álvarez, 1998).

**Ecuación 15.** Ecuación para calcular la Caída de una Partícula

$$W = \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g D + \frac{36\nu^2}{D^2} \right]^{1/2} - \frac{6\nu}{D}$$

$W$  = Velocidad de caída (m/s)

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s). Para agua a 18°C la  $\nu$  es igual a  $1.057 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

$D$  = Diámetro característico (m)

#### 1.6.1.7. Muestreo de Sedimentos

Las diferentes muestras de sedimentos que han sido obtenidas en el cauce de un río, en un tiempo determinado nos valen para establecer las diferentes cargas y cantidades de material sedimentado transportado en ese tiempo de estudio.

En la toma de muestras de sedimentos depende de varios factores como pueden ser: por la cantidad de caudal que presente el río (si el lecho está seco o por el nivel del flujo de corriente) y por el tipo de material transportado (muestreo en ríos de gravas y guijarros).

#### **1.6.1.8. Equipo para la toma de muestras del material transportado**

Los equipos para tomar muestras de sedimentos pueden ser de diferentes tipos, pero para escoger un equipo principalmente depende mayormente del material a muestrear.

##### **1.6.1.8.1. Muestreadores Helley Smith**

El muestreador para la toma de sedimentos Helley – Smith es recomendable para ríos que presenten material sedimentado como grava y arena.

Este muestreador está compuesto por una embocadura de forma rectangular que va estar pegada a una malla que nos va servir para recoger las partículas de sedimento. También lo conforma una aleta que nos va servir como alineamiento del muestreador con la dirección de la corriente o del caudal.

Las partes de este muestreador como la embocadura, la malla, la aleta, y toda su dimensión van a depender del tipo de material solido que es transportado por la corriente del río. (Ver figura 3).



**Figura 12.** Muestreador de Sedimentos Helley – Smith

**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.6.1.8.2. Muestreador US BM

Estos tipos de muestreadores permiten tomar muestras de sedimentos que son transportados en fondo en un determinado punto, pero a diferencia de otros equipos, este muestreador US BM nos permite extraer material de sedimentos dos pulgadas por encima del cauce del río sin tener pérdida alguna de materiales finos.

Este tipo de muestreador está conformado por material de hierro fundido, conformado por dos aletas para que le den dirección cuando se encuentra dentro del flujo y va estar sostenido mediante un cable de acero desde la superficie.



#### 1.6.1.9. Ecuaciones de Transporte de sedimentos en fondo

En la actualidad se han venido formulando y desarrollando diversas metodologías que permiten medir la cantidad de material sólido sedimentado. Pero cada una de las metodologías nos va permitir adquirir cada una de las variables propuestas en las diferentes ecuaciones para el estudio de transporte de sedimentos.

Para calcular el transporte total de sedimentos de fondo se incluirá las diferentes ecuaciones que nos van a permitir realizar un adecuado estudio de transporte de sedimentos total del fondo, pero

principalmente tenemos que diferenciar las partículas que son arrastradas en fondo y las que son arrastradas en suspensión.

Existen diferentes ecuaciones para estudiar las capas de arrastre o fondo, cuyos espesores son iguales o aproximados al doble de los diferentes diámetros del material sedimentado, encontramos los siguientes métodos propuestos por Engelund y Hansen, Schoklitsch, Meyer – Meter y Müller, Duboys y Straub, Levi.(Flores & Álvarez, 1996).

#### 1.5.1.10.1. Ecuación de Schoklitsch

Schoklitsch propuso un modelo para el estudio del arrastre de fondo de las partículas sedimentadas pero que lo fue perfeccionando a través de diferentes ensayos y en el año de 1950 conocimos el modelo final de su ecuación.

**Ecuación 16.** Ecuación propuesta por Schoklitsch para calcular la carga de fondo expresada en peso.

$$g_{bb} = 2500 S^{1/3} \left( qS^{7/6} - 2.351 * 10^{-5} \Delta^{5/3} D^{7/18} \right)$$

**Ecuación 17.** Ecuación propuesta por Schoklitsch para calcular la carga de fondo expresada en volumen.

$$S_{bb} = \frac{2500}{\gamma_s} S^{1/3} \left( qS^{7/6} - 2.351 * 10^{-5} \Delta^{5/3} D^{7/18} \right)$$

Donde:

$g_{bb}$  = Transporte unitario en el fondo o carga de fondo expresado en peso

$S_{bb}$  = Transporte unitario de lecho en el fondo o carga de fondo expresado en volumen

$D$  = Diámetro representativo

Cuando el tamaño de las partículas no es uniforme, Schoklitsch recomienda que se utilice como diámetro representativo de la mezcla el  $D_{40}$ .

$$D = D_{40}$$

$S$  = Pendiente hidráulica del río

$q$  = Caudal unitario

$\Delta$  = Densidad relativa de las partículas sumergidas

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento

#### 1.5.1.10.2. Ecuación de Meyer – Meter y Müller

Para llegar a plasmar la ecuación final del modelo de Meyer – Peter y Müller se realizaron diferentes tipos de ensayos y pruebas en Suiza, y en el año de 1948 se logró concretar la ecuación para obtener el arrastre de la capa de fondo de partículas de sedimentos. (Flores & Álvarez, 1996).

**Ecuación 18.** Ecuación propuesta por Meyer – Meter y Müller para calcular la carga de fondo expresada en peso.

$$g_{bb} = 8\gamma_s(g\Delta D_m^3)^{1/2} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} \tau * -0.047 \right]^{3/2}$$

**Ecuación 19.** Ecuación propuesta por Meyer – Meter y Müller para calcular la carga de fondo expresada en volumen.

$$s_{bb} = 8(g\Delta D_m^3)^{1/2} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} \tau * -0.047 \right]^{3/2}$$

**Ecuación 20.** Ecuación para calcular la rugosidad debida a las partículas de sedimento en fondo plano.

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

**Ecuación 21.** Ecuación para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning.

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

**Ecuación 22.** Ecuaciones para calcular el parámetro de Shields.

$$t^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) D_m}$$

$$t_0 = \gamma R S$$

$$t^* = \frac{\gamma R S}{(\gamma_s - \gamma) D_m} = \frac{R S}{\Delta D_m}$$

Para canales muy anchos,  $B > 40$  m, se tiene:

$$t^* = \frac{h S}{\Delta D_m}$$

Donde:

$g_{bb}$  = Transporte unitario de lecho en el fondo o carga de fondo expresado en peso

$s_{bb}$  = Transporte unitario de lecho en el fondo o carga de fondo expresado en volumen

$D_m$  = Diámetro medio

$g$  = Aceleración debida a la fuerza de la gravedad

$n'$  = Rugosidad debida a las partículas de sedimento en fondo plano

$n$  = Coeficiente de Manning

$\Delta$  = Densidad relativa de las partículas sumergidas

$\gamma$  = Peso específico del agua

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento

$T^*$  = Parámetro de Shields

### 1.5.1.10.3. Ecuación de Duboys y Straub

Duboys y Straub propusieron en el año de 1879 su primera ecuación de transporte de sedimentos en fondo, donde se basaron principalmente en una lluvia de ideas que tuvieron en como inicia el movimiento o transporte de las partículas de sedimentos a lo largo del cauce del río, llegando a la conclusión de que para que estas partículas sean transportadas deberían alcanzar y superar distintos valores críticos; y una vez iniciado los movimientos de estas partículas su transporte se daba por deslizamiento siendo también uno de sus factores el tamaño de las partículas que permitían deslizarse unas sobre otras. Esta ecuación se va utilizar con un  $D=D_{50}$ .

**Ecuación 23.** Ecuación propuesta por Duboys y Straub si  $\tau_* \leq 1.30$

$$G_B = 0.01003(\gamma_s - \gamma)^2 D^{1.25} \tau_* (\tau_* - \tau_{*C})$$

**Ecuación 24.** Ecuación propuesta por Duboys y Straub si  $\tau_* > 20\tau_{*C}$

$$G_B = 0.01003(\gamma_s - \gamma)^2 D^{1.25} \tau_*$$

**Ecuación 25.** Ecuación para calcular el número adimensional de Shields

$$\tau_{*C} = \frac{\tau_C}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}}$$

**Ecuación 26.** Ecuación para hallar el esfuerzo cortante critico

$$\tau_c = 41.8D^{0.82} - 0.017Ln(454D)$$

**Ecuación 27.** Ecuación para hallar la densidad relativa de las partículas sumergidas

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

Donde:

$G_B$  = Arrastre unitario en la capa de fondo expresado en kgf/m.s

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento expresado en kgf/m<sup>3</sup>

$\gamma$  = Peso específico del agua expresado en kgf/m<sup>3</sup>

$D$  = Diámetro representativo de la partícula expresado en m, empleando  $D_{50}$

$\tau_*$  = Número adimensional de Shields asociado a  $\tau_0$

$\tau_{*c}$  = Número adimensional de Shields

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante critico

$g$  = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>

$\Delta$  = Densidad relativa de las partículas sumergidas

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua en m<sup>2</sup>/s en función de la temperatura

#### 1.5.1.10.4. Ecuación de Levi

Levi propuso su ecuación basándose en el gasto solido del material, tomando distintos valores de la velocidad media y velocidad critica de la corriente del flujo del río.

**Ecuación 28.** Ecuación propuesta por Levi

$$G_B = \frac{0.002\gamma_s.U^3(U - U_c)}{g^{3/2}(d.D_m)^{1/4}}$$

**Ecuación 29.** Ecuación para determinar la velocidad crítica del flujo cuando  $d/d_m \geq 60$

$$U_c = 1.4 \sqrt{g \cdot D_m} \left( \frac{D_{max}}{D_m} \right)^{1/7} * L_n \left[ \frac{d}{7 \cdot D_m} \right]$$

**Ecuación 30.** Ecuación para determinar la velocidad crítica del flujo cuando  $d/d_m < 60$

$$U_c = 1.4 \sqrt{g \cdot D_m} \left( \frac{D_{max}}{D_m} \right)^{1/7} \left[ 1 + L_n \sqrt{\frac{d}{7 \cdot D_m}} \right]$$

**Ecuación 31.** Ecuación para determinar el diámetro máximo de las partículas

$$D_{max} = D_m * 1.276^{3.0923}$$

Donde:

$G_B$  = Arrastre de partículas en capa de fondo en kgf/m.s.

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento en kgf/m<sup>3</sup>

$g$  = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>

$d$  = Tirante promedio de la sección de río (m)

$D_m$  = Diámetro medio de las partículas (m)

$D_{max}$  = Diámetro máximo de las partículas (m)

$U$  = Velocidad media del escurrimiento (m/s)

$U_c$  = Velocidad crítica del escurrimiento (m/s)

#### 1.5.1.10.5. Ecuación de Engelund y Hansen

Engelund y Hansen realizaron diferentes tipos de ensayos en las que venían utilizando arena, pero en el año de 1967 lograron precisar su ecuación para estudiar la cantidad total de sedimentos en fondo y decidieron presentar al mundo su ecuación para el estudio de sedimentos (Flores & Álvarez, 1996).

**Ecuación 32.** Ecuación propuesta por Engelund y Hansen del transporte unitario total del fondo expresada en peso

$$G_b = 0.05\gamma_s V^2 t_*^{3/2} \left(\frac{D_{50}}{g\Delta}\right)^{1/2} \quad [kg/s - m]$$

**Ecuación 33.** Ecuación propuesta por Engelund y Hansen del transporte unitario total del fondo expresada en volumen

$$S_b = 0.05V^2 t_*^{3/2} \left(\frac{D_{50}}{g\Delta}\right)^{1/2} \quad [m^3/s - m]$$

**Ecuación 34.** Ecuación para calcular el parámetro de Shields

$$t_* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)D_{50}} = \frac{RS}{\Delta R_{50}}$$

En el caso de ríos anchos,  $B > 40$  m, se tiene:

$$t_* = \frac{hS}{\Delta D_{50}}$$

**Ecuación 35.** Ecuación para calcular los esfuerzos cortantes que los flujos ejercen sobre el fondo

$$\tau_0 = \gamma RS$$

Donde:

$G_b$  = Transporte unitario total del fondo expresado en peso

$S_b$  = Transporte unitario total del fondo expresado en volumen

$D_{50}$  = Diámetro de las partículas de la mezcla, tal que el 50% en peso respectivamente son menores que estos valores

$\tau_0$  = Esfuerzo cortante que el flujo ejerce sobre el fondo

$t_*$  = Parámetro de Shields

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento

$h$  = Tirante o profundidad de la corriente

$R$  = Radio hidráulico

$S$  = Pendiente hidráulica

$V$  = Velocidad media del flujo

$\Delta$  = Densidad relativa de las partículas sumergidas

## **1.6.1.10. Normativa**

### **1.6.1.10.1. Norma Técnica**

#### **ASTM C 128. Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Fino.**

La presente norma técnica especifica los métodos que se emplean para obtener la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso y así poder distinguir los diferentes conceptos y tipos de ensayos de estos ítems.

Para definir las características físicas de los agregados debemos tener en cuenta que estos materiales son porosos hasta un cierto punto lo cual va permitir la penetración de agua a través de los poros, por lo tanto una partícula húmeda puede contener agua ya sea en su interior y su exterior.

La absorción viene hacer el incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un tiempo determinado (24 horas) sin sumar el agua que se encuentra en la superficie del agregado y se expresa como porcentaje de la masa seca.

La densidad de un material se define como la masa por unidad de volumen de un material expresada en  $\text{kg/m}^3$ .

En los agregados se puede obtener distintos valores en función si es que la masa se considera en los cálculos, pudiendo encontrarse el agregado en las siguientes condiciones:

- a) Secadas al horno (SH), es la condición en la cual el agregado ha sido secado en un horno a temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante un tiempo determinado (24 horas) para lograr obtener así una masa constante.

b) Saturados Superficialmente Secos (SSS), en la condición en donde a los poros permeables de las partículas de agregado lo llenamos con agua durante un determinado tiempo (24 horas), pero sin agua libre sobre la superficie de las partículas.

El material se sumerge en agua con la finalidad de calcular el cambio de la masa y peso de un agregado debido al agua absorbida por los espacios de poros que contienen en su interior las partículas y estas masas se comparan con la masa seca después de que ha estado en el horno.

Este ensayo se basa en sumergir una muestra en agua por 24 horas  $\pm$  4 horas, después de que ha pasado el tiempo se remueve el agua y se seca las superficies del material para determinar la masa. Dicha muestra la colocamos sobre un recipiente graduado y su volumen de la muestra lo calculamos por el método volumétrico.

Finalmente la muestra se seca al horno y la masa se determina de nuevo y utilizando estos valores de la masa y volumen se puede calcular la densidad, densidad relativa y la absorción.

### **ASTM C 127. Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Grueso.**

La presente norma técnica muestra los métodos que se emplean para obtener la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso y así poder distinguir los diferentes conceptos y tipos de ensayos de laboratorio de estos ítems.

Esta norma permite recordar sobre los procedimientos que se han utilizado en la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), densidad relativa o gravedad específica nos indica de que se expresan como

secadas al horno (SH) o saturadas superficialmente secas (SSS).

La densidad secada al horno y la densidad relativa secada al horno se determinan después de secar el agregado grueso en horno.

La densidad saturada superficialmente seca, la densidad relativa saturada superficialmente seca y la absorción se determinan después de saturar el agregado en agua durante un tiempo de 24 horas.

En la norma nos indica que para el presente ensayo el material de agregado se sumerge en agua por  $24 \pm 4$  horas para llenar los vacíos o poros de las partículas. Donde una vez pasado el tiempo el agua es removida y se seca el agua de las partículas para calcular la masa y así colocarlo en una canastilla y sumergirlo en un balde con agua para obtener su peso sumergido y obtener su nueva masa para posteriormente pasar a secarlo al horno por un tiempo de 24 horas y volver a obtener su nuevo peso del agregado seco.

### **ASTM C 136. Método Estándar de Ensayo para Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso.**

El análisis granulométrico de un agregado se entiende como el procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas.

En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra, donde estos porcentajes son calculados de manera parcial o como acumulados en cada malla y al final procedemos a graficar con nuestros valores la tabla granulométrica.

Con este ensayo de granulometría se tiene como objetivo principal aprender a realizarlos por sí mismo y a saber interpretar los resultados obtenidos.

La granulometría de agregado fino y grueso consiste en separar las partículas con unos tamices o mallas de diferentes aberturas o números para así poder determinar los diferentes tamaños o diámetros de las partículas. Y estos resultados se van a representar a través de una curva granulométrica en un papel logarítmico normal.

Este ensayo de granulometría se usa para determinar la graduación de materiales empleados para usarse como agregados. Los resultados son utilizados para determinar si el material que estamos estudiando cumple con los requisitos de un agregado y puede ser utilizado como agregado.

#### **1.6.1.10.2. Norma Legal Manual de Puentes**

El ministerio de transportes y comunicaciones es el órgano rector a nivel nacional en lo que se refiere a transporte y dictar normas de infraestructura vial y verificar su cumplimiento.

En donde la dirección general de caminos y ferrocarriles es el órgano de ámbito nacional encargada de crear las normas de infraestructuras de puentes, caminos, ferrocarriles y de verificar el cumplimiento de dichas normas.

La actual norma es una actualización del Manual de Diseño de Puentes aprobado por Resolución Ministerial 589-2003-MTC/02 del 31 de julio de 2003, y del año 2014 Séptima Edición.

En el presente manual nos brindan las pautas necesarias para el desarrollo de la presente investigación en lo que se refiere a ingeniería básica como pueden ser los estudios de topografía, hidrológicos e hidráulicos, geológicos, geotécnicos.

### **Estudios Topográficos**

Con los estudios topográficos obtendremos los siguientes datos:

Realizar el reconocimiento de lugar de estudio para así realizar los planos topográficos.

Con el levantamiento topográfico logramos obtener información básica para realizar los estudios de hidrología e hidráulica, geología, geotécnicos.

Determinar la ubicación precisa y sus dimensiones estructurales, así como también tener la opción para realizar un replanteo.

La topografía del lugar de estudio debe ser documentada mediante planos con curvas de nivel, fotografías, registros digitales e informes.

Los planos serán presentados en láminas con los formatos apropiados a la magnitud de la obra y los registros digitales como CD o DVD en formatos compatibles con los programas que se utilizaran.

## **Estudios de Hidrología e Hidráulica**

Los objetivos de dichos estudios son establecer las características de las máximas avenidas y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río para que nos permitan definir los requisitos mínimos del puente.

Con los estudios de hidrología e hidráulica nos permiten determinar los siguientes parámetros:

Ubicación óptima del cruce.

Estimación de caudales máximos de diseño.

Comportamiento hidráulico del río

Determinación de las características hidráulicas del río

Nivel máximo de agua en la ubicación del puente

Obras de protección necesarias

El levantamiento topográfico para realizar los diferentes estudios hidráulicos debe comprender lo siguiente:

En los ríos con amplias llanuras de inundación, donde el puente produce contracción de flujo de avenida el levantamiento topográfico abarcara 12 veces el ancho del cauce principal aguas arriba y 6 veces hacia aguas abajo del eje propuesto.

En los ríos donde el puente no produzca contracción de flujo de avenida y presente una pendiente pronunciada el levantamiento topográfico abarcara 8 veces el ancho del cauce principal aguas arriba y 4 veces hacia aguas abajo. No será menor a 150 m. aguas arriba y 150 m aguas abajo del eje del puente propuesto.

Para realizar los diferentes estudios de material que escurren por el cauce como la gravedad específica, análisis granulométrico.

Se deberán tomar diferentes muestras del material que escurren por el cauce tomando al menos en cuatro puntos, dos muestras en el eje del puente y a 0.5B y B metros aguas arriba; donde B es el ancho promedio del río. En cada punto se deben tomar al menos tres muestras.

### **1.6.1.10.3. Norma Ambiental**

#### **Ley N° 29338. Ley de Recurso Hídricos**

En la siguiente ley nos hablan sobre el uso y la gestión que debemos tener sobre los recursos hídricos. Y estas leyes vienen a estar comprendidas por las aguas superficiales, subterráneas, continentales, marítimas y en todas las aguas en donde resulten aplicables.

La finalidad principal de la presente ley es regular el uso y la gestión integrada de los recursos hídricos y la forma en cómo actúa o interviene el estado sobre esta.

Tenemos varios principios que debemos tener en cuenta en el uso y gestión integrada de los recursos hídricos como:

- Empezar a valorar el agua y la gestión integrada por lo que el agua tiene un valor económico, sociocultural y ambiental.
- Tener prioridad en el acceso del uso del agua para lograr satisfacer nuestras necesidades primarias como personas humanas.
- Incentivar a la participación de la población a tomar conciencia sobre el uso del agua porque si no tomamos conciencia afectaríamos el agua no solo en cantidad sino también en calidad.
- Promover programas educativos sobre el valor que el agua tiene en este mundo y así tomar conciencia de cómo debemos cuidar y ahorrar el agua.

#### **1.6.1.10.4. Norma de Seguridad y Salud Ocupacional**

En la norma de seguridad y salud ocupacional se ha tomado en cuenta el manual de puentes para tener la seguridad de hacer un correcto levantamiento topográfico de acuerdo a lo que nos indica dicho manual para el estudio de un levantamiento topográfico, obtener el perfil longitudinal y secciones transversales del cauce de un río para identificar los puntos en que se tomaron las muestras de sedimentos.

También se obtuvo las muestras de sedimentos de acuerdo a lo que nos indica el manual aguas arriba y aguas abajo en los puntos que nos indica según el ancho del cauce del río y sus muestras adecuadas para cada punto, se tomó en cuenta la velocidad del flujo y tiempo.

Y para los ensayos de laboratorio de las muestras de sedimentos se tomó en cuenta las diferentes Normas Técnicas Peruanas para cada tipo de ensayo como granulometría, densidad, peso específico, rugosidad y así poder desarrollar los ensayos con la ayuda del técnico de laboratorio de suelos de la Universidad Señor de Sipán.

#### **1.6.1.11. Impacto ambiental**

Los estudios de transporte de sedimentos han venido generando una gran diversidad de impactos ambientales ya sea positivos y negativos.

##### **1.6.1.11.1. Impacto ambiental positivo**

El principal impacto ambiental positivos que se genera con el estudio de transporte de sedimentos es mantener el cauce del río de manera estable y así evitar que las estructuras colapsen a consecuencia de la sedimentación, por ejemplo evitando el colapso de un puente vamos a lograr que las actividades humanas como el transporte, la comunicación, la agricultura y

ganadería no se paralicen y sigan desarrollándose con normalidad.

Otro impacto ambiental positivo que se genera son los estudios que se van a realizar antes de la ejecución de un proyecto como estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, estructurales, de manera que si incluimos el estudio de transporte de sedimentos se van a tomar las precauciones necesarias en las máximas avenidas antes de la ejecución de dicho proyecto, evitando así la sobrevalorización de las obras de esta envergadura.

El estudio de transporte de sedimentos nos permite conocer la realidad actual de la zona de estudio en este caso el río Motupe, es decir nos permite conocer también las necesidades, servicios y medidas de precaución para la gente aledaña al río.

Si una entidad como una municipalidad se dedica a estudiar el transporte de sedimentos que se generan en el río y lo trabajara de manera responsable, va conocer primeramente sobre las características, propiedades y cantidad del material que es transportado durante un tiempo determinado.

En esta investigación en el río Motupe se ha visto que las arenas y gravas cumplen con los requisitos estándares para la construcción por lo que estos materiales vienen siendo utilizados como agregados en la construcción de edificaciones, losas, carreteras, etc.

#### **1.6.1.11.2. Impacto ambiental negativo**

El estudio de transporte de sedimentos nos permite identificar los impactos ambientales negativos que se produce en la zona de estudio.

El principal impacto ambiental negativo que se viene generando en la cuenca del río Motupe tomando como referencia el puente Motupe es la explotación excesiva como cantera de arenas y

gravas por parte de los moradores aledaños causando así la degradación del lecho y su libre cauce del río.

La explotación excesiva de arenas y gravas en los lechos de los ríos es una amenaza para los puentes, riberas, y estructuras aledañas.

La extracción de arenas y gravas causan la destrucción del hábitat acuático y ripario.

La extracción excesiva de arenas y gravas puede afectar el comportamiento de los pilares de los puentes así como también descubrir tuberías enterradas y otras obras de infraestructura.

Las maquinas que se utilizan para la explotación de arenas y gravas en los lechos de los ríos afectan la calidad del agua, debido al amontonamiento y botadero de excesos inorgánicos, orgánicos y derrames de aceite y combustibles.

#### **1.6.1.12. Gestión de riesgos**

Las medidas a la solución del problema vendría hacer el mantenimiento del cauce del río cada un cierto tiempo determinado.

#### **1.6.1.13. Métodos de costos y presupuestos**

Para obtener los costos y el presupuesto del presente proyecto de investigación se tienen que definir primeramente el orden y los trabajos a realizarse, es decir se deben detallar cada una de las partidas para cumplir con el desarrollo de dicho proyecto. Donde una vez detalladas las partidas se pasó a conseguir los precios de cada una de las partidas para procesar los datos en el programa S10 y así obtener el presupuesto total del presente proyecto de investigación.

### 1.6.2. Definición de términos básicos

**Sedimentación.-** Este proceso se origina cuando las partículas se acumulan y son transportadas por una corriente de agua y se depositan en determinadas zonas de una superficie o en el fondo de un río.

**Cuenca.-** La cuenca hidrográfica son zonas cuyas aguas se drenan por un río a través de un solo sistema natural de drenaje hasta que desembocan en un lago o mar.

**Caudal.-** Es la cantidad de agua que circula en tuberías, ríos, canales en un tiempo determinado.

**Régimen.-** El régimen fluvial es el comportamiento o fluctuación del caudal de un río a lo largo del año.

**Cauce.-** Es la parte de un río o un canal por donde circulan las aguas para riegos u otros usos.

**Erosión.-** Es el desgaste producido en la superficie del suelo o las rocas por los diferentes procesos geológicos como el viento y la lluvia.

**Topografía.-** Ciencia que permite estudiar los diferentes niveles que existen en la tierra.

**Sección transversal.-** Geométricamente es el corte de un sólido en forma paralela a este.

**Gato sólido.-** Es la cantidad de partículas expresada en unidades de peso o volumen que pasa por una sección determinada en un determinado tiempo.

**Pendiente hidráulica.-** Inclinación topográfica de alguna obra hidráulica.

**Rugosidad.-** La rugosidad depende del tipo de material con el que va ser revestido el canal que puede ser de forma natural o artificial y también dependerá de su tiempo de uso.

**Granulometría.-** Bajo este título general, se comprenden todas las formas para separar el suelo en sus distintas dimensiones a través de los diferentes tamaños de tamiz.

## II. MATERIAL Y METODOS

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. Tipo y diseño de la investigación**

#### **Tipo de investigación**

El presente proyecto de investigación tiene un tipo de investigación Tecnológica – experimental; porque la hipótesis se verificó mediante la manipulación deliberada de las variables.

#### **Diseño de la investigación**

La presente investigación presenta un diseño experimental porque se tomó las muestras de sedimentos en fondo obtenidos en campo para estudiarlas a través de sus diferentes ensayos de laboratorio y los resultados obtenidos compararlos a través de sus diferentes ecuaciones de estudio.

### **2.2. Método de investigación**

#### **Deductivo**

Una vez definido las variables independiente, dependiente y sus respectivos indicadores, se iniciara con los procedimientos respectivos en cuanto a la hipótesis para una adecuada toma de muestras de transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe.

#### **Inductivo**

Porque para lograr con éxito la siguiente investigación tienen que intervenir diferentes tipos de trabajos de campo como reconocimiento del lugar de estudio, levantamiento topográfico, toma de muestras de sedimentos, ensayos de laboratorio; y una vez logrado con éxito todos estos trabajos se realizara la comparación del transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe.

#### **Analítico**

La presente investigación se realizó mediante el método de resultados; pero para eso se tuvo que indagar diferentes teorías sobre la toma de muestras de transporte de sedimentos y sus diferentes ecuaciones para su estudio.

## **Síntesis**

Una vez estudiados los sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe se comparó las muestras de los sedimentos en laboratorio a través de sus diferentes ecuaciones de estudio.

### **2.3. Población y muestra**

La población son todos los tipos de transporte de sedimentos (de fondo, saltación y suspensión) que son transportados a lo largo de toda la cuenca del río Motupe.

La muestra son los sedimentos transportados en fondo, en el eje y a ambos costados del río Motupe a una distancia de 200 metros aguas arriba tomando como referencia las inmediaciones del puente Motupe.

### **2.4. Variables**

#### **Variable Independiente**

Río Motupe.

#### **Variable Dependiente:**

Transporte de sedimentos en fondo

## 2.5. Operacionalización de Variables

**Tabla 6.**  
*Variable Independiente.*

Variable Independiente	Dimensión	Indicadores	Sub indicadores	Índices	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de medición
Río Motupe	Caudal del río	Caudal	-----	m <sup>3</sup> /s	Observación	Guía de análisis de documentos	Pluviómetro Wincha Velocímetro
		Nivel de agua	Tirante hidráulico	m			
		Velocidad de agua	-----	m/s			
		Secciones transversales	Área hidráulica	m <sup>2</sup>	Observación	Guía de análisis de documentos	Equipos Topográficos
		Pendiente	Cotas longitud	m	Observación	Guía de análisis de documentos	Equipos Topográficos
	Topografía	Irregularidad del cauce	Rugosidad	msnm km	Observación	Guía de análisis de documentos	Equipos Topográficos
	Coordenadas	Longitud Latitud	0.025 < n < 0.60	Utm	Observación Observación	Guía de análisis de documentos	Equipos Topográficos
	Área	Perímetro Ángulos	m <sup>2</sup>	Observación Observación	Guía de análisis de documentos	Equipos Topográficos	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 7.**  
*Variable Dependiente.*

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Sub indicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Técnicas de recolección de datos</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos</b>	<b>Instrumentos de medición</b>		
<b>Transporte de Sedimentos en fondo</b>	Análisis granulométrico	Granulometría	Gravas	≥4.75 mm	Observación	Guía de observación	Tamices estándar		
			Arenas finos	> 4.75 < 0.75 mm					
				<0.75 mm					
	Peso del material	Densidad		Masa	Kg	Observación	Guía de observación	Balanza	
				Volumen	cm3	Observación	Guía de observación	Tara	
		Peso específico		Peso de partículas finas		Kg	Observación	Guía de observación	Balanza y Fiola
				Peso de partículas gruesas		Kg	Observación	Guía de observación	Balanza y Canastilla
				Contenido de humedad		%	Observación	Guía de observación	Horno y Balanza
				Temperatura		°C	Observación	Guía de observación	Termómetro

**Fuente:** Elaboración propia

## **2.6. Hipótesis**

Al cuantificar el transporte de sedimentos en fondo se determinará, mediante el estudio comparativo, cuál de las ecuaciones son las de mejor ajuste en las inmediaciones del puente Motupe.

## **2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de información**

### **2.7.1. Técnicas de recolección de datos**

#### **Observación**

La técnica que se utilizó es la de observación de las muestras de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe, para posteriormente anotar los resultados de los diferentes ensayos realizados en laboratorio y adecuarlas a las diferentes ecuaciones para el cálculo de transporte de sedimentos y comparar los resultados.

#### **Análisis de documentos**

Para el desarrollo del presente tema de investigación se tuvo en cuenta libros, tesis, papers, páginas web, artículos de investigación, informes, fichas; con el propósito de tener más claros los conceptos para el desarrollo de dicha investigación.

#### **Entrevistas**

Se realizó la entrevista al ingeniero especialista en la rama de ingeniería hidráulica de nuestra universidad en este caso al ingeniero Guillermo Arriola Carrasco para ver su punto de vista sobre el tema de investigación y así mejorar día a día el presente trabajo.

### **2.7.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos (materiales y equipos) que se emplearon para la recolección de datos serán los necesarios para cumplir con el desarrollo de los objetivos de la presente investigación.

Se han empleado equipos topográficos (estación total, prismas, GPS, brújula) para el reconocimiento del terreno y realizar así su levantamiento

topográfico del lugar de estudio y poder indicar los puntos para tomar muestras de material.

También se utilizó un muestreador para la toma de muestras de sedimentos en fondo, bolsas plásticas y plumones para indicar el número de muestra.

Se emplearon los programas de Microsoft Word, Microsoft Excel y el AutoCAD Civil 3d, cada programa con su respectiva tarea para realizar el procesamiento de datos.

#### **2.7.2.1. Guías de Observación**

Para el desarrollo de la siguiente investigación se utilizaron formatos de anotación para así mantener un orden y mejor comprensión de los datos obtenidos, entre los formatos realizados tenemos:

- Formatos de anotación de puntos para el levantamiento topográfico.
- Formatos para el estudio de suelos (granulometría, peso específico, densidad).
- Formato de las distintas ecuaciones de transporte de sedimentos.

Se revisaron normas técnicas que permiten tener un mejor conocimiento sobre los trabajos a realizar para la recolección de datos, así como también las distintas normas técnicas para la obtención de resultados a través de los distintos ensayos de laboratorio.

#### **2.7.2.2. Visitas a campo**

Las visitas a campo se realizaron con la finalidad de realizar el levantamiento topográfico y en especial realizar la toma de muestras de sedimentos que se han obtenido a través de un muestreador que ha sido habilitado por el laboratorio de hidráulica de la Universidad Señor de Sipán, donde una vez obtenidas las muestras de sedimentos en campo se realizó el estudio de las muestras a través de los distintos ensayos de laboratorio.

### **2.7.2.3. Cuestionario (entrevista)**

La entrevista se realizó a un ingeniero especialista en la rama de ingeniería Hidráulica de la Universidad Señor de Sipán, al ingeniero Guillermo Gustavo Arriola Carrasco.

Entre las preguntas que se realizaron sobre la importancia del tema de transporte de sedimentos fueron: Cual es la importancia de la presente investigación, porque es importante este estudio, que prevenciones nos haría tener el presente tema de investigación, entre otra; donde los detalles de la entrevista se detallan en el anexo 3.

### **2.7.2.4. Guía de análisis documental**

Para el desarrollo de la presente investigación se revisaron las normas y manuales que nos permitieron realizar el estudio topográfico, y las diferentes normas técnicas para desarrollar el estudio y análisis a través de los diferentes ensayos de laboratorio como los ensayos para granulometría, peso específico, peso específico sumergido, densidad. Y una vez desarrollados todos los ensayos se procesó los resultados a través de las distintas ecuaciones para estimar y calcular la cantidad de transporte de sedimentos que se producen en un determinado tiempo.

Como guías de análisis documental se utilizó las distintas normas técnicas, en especial teniendo como referencia la norma técnica peruana (ver tabla 8).

**Tabla 8.**  
*Normativa*

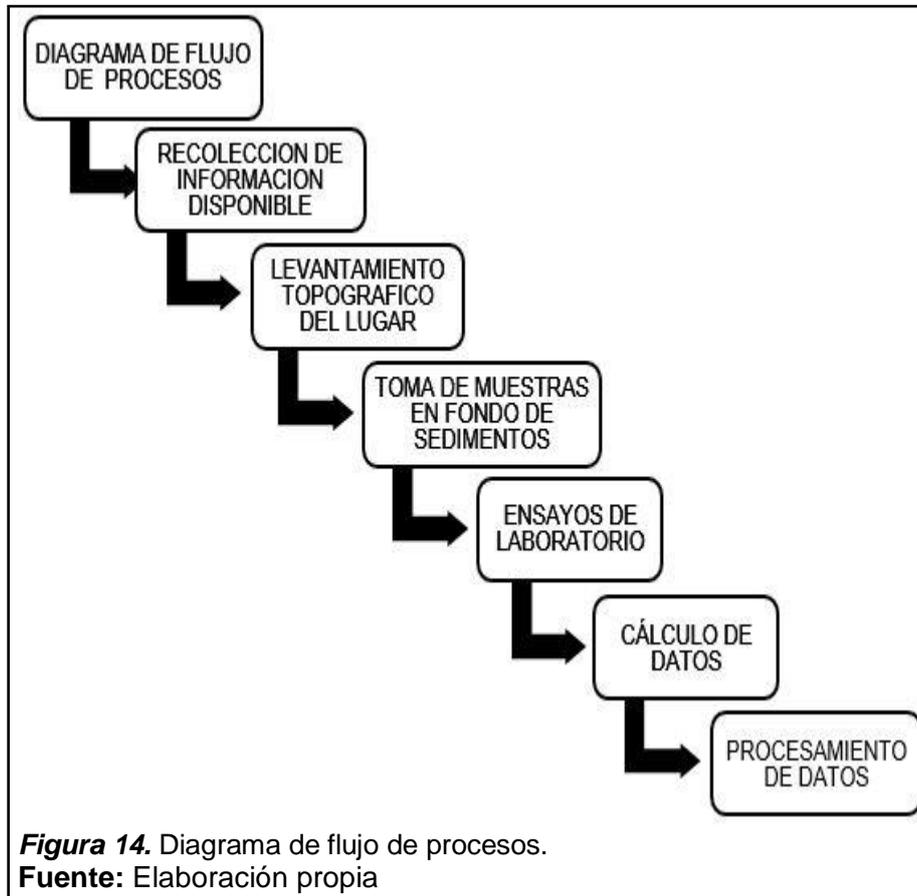
<b>NORMATIVA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ASTM C 128	Densidad , Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino
ASTM C 127	Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso
ASTM C 136	Métodos Estándar de Ensayo para Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso
Manual de Puentes	Estudios Topográficos Estudios de Hidrología e Hidráulica
Ley N° 29338	Ley de Recursos Hídricos
Manual de Hidrología y Drenaje de Puentes	Parámetros necesarios para el diseño hidrológico e hidráulico de obras de arte y puentes.

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla número 8 se detallan los diferentes puntos de distintas normativas que se emplearon para un mejor entendimiento sobre el tema de transporte de sedimentos.

## 2.8. Procedimientos para la recolección de datos

### 2.8.1. Diagrama de flujo de procesos



### 2.8.2. Descripción de procesos

#### 2.8.2.1. Recolección de la información disponible

Consistió en recolectar los datos de estudios realizados por entidades como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), SENAMHI, Gobierno Local, y todo lo necesario que esté relacionado con el presente tema de investigación.

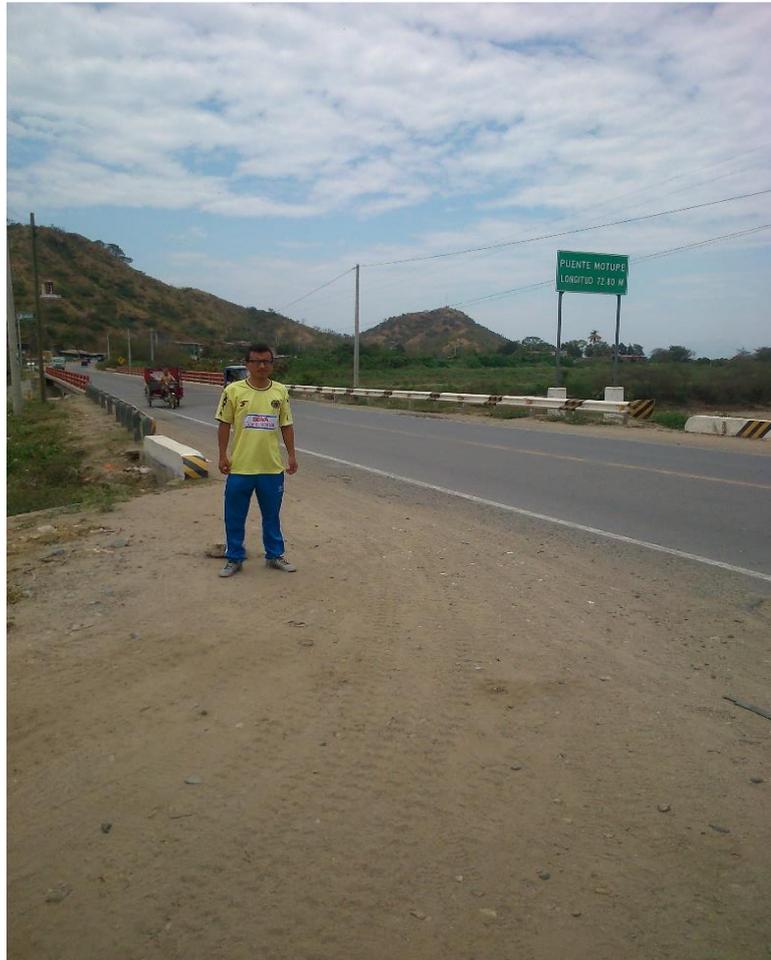
#### 2.8.2.2. Levantamiento topográfico del lugar

Consiste en el levantamiento topográfico de la zona de estudio en este caso el río Motupe pero en las inmediaciones del puente Motupe, para así hacer reconocimiento de campo y a la vez saber los desniveles del lugar.

El levantamiento topográfico del lugar se realizó tomando como referencia el puente Motupe en un área de 1 kilómetro: 500 metros aguas arriba y 500 metros aguas abajo con la finalidad de conocer los distintos desniveles que presenta el lugar de estudio.



**Figura 15.** Estación total.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 16.** Vista panorámica del puente Motupe.  
**Fuente:** Elaboración propia

### **2.8.2.3. Toma de muestras en fondo de sedimentos**

Se tomó las muestras de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe a través de un muestreador. Donde las muestras tomadas serán guardadas en bolsas plásticas anotadas con un respectivo número para su posterior estudio.

Las muestras que se han tomado para el estudio de granulometría, se han extraído aguas arriba del puente Motupe y a una distancia B (ancho promedio del río) y están ubicadas en las siguientes cotas:

- Tres muestras en el eje del puente (en el borde izquierdo del puente, eje del puente y en el borde derecho del puente).
- Tres muestras a una distancia  $0.5 B$  del río (en el borde izquierdo del río, en el eje del río y en el borde derecho del río).

- Tres muestras a una distancia B del río (en el borde izquierdo del río, en el eje del río y en el borde derecho del río).



**Figura 17.** Toma de muestras de sedimentos en fondo.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 18.** Muestreador realizado por el alumno.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 19.** Muestreador realizado por el alumno.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.8.2.4. Ensayos de laboratorio**

Una vez terminadas de tomar las muestras de sedimentos se pasó a realizar los diferentes ensayos de laboratorio para conocer las características y propiedades de las muestras de sedimentos tomadas en campo, entre los ensayos de laboratorio que se realizaron tenemos: el ensayo de granulometría, densidad, peso específico, rugosidad.

Los diferentes tipos de ensayos se realizaron para cada muestra y a su vez se fue anotando los resultados obtenidos.



**Figura 20.** Material de sedimentos seco.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 21.** Granulometría del material obtenido en campo.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 22.** Secado de material retenido en la malla N° 200.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 23.** Material fino humedecido en fiolas.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 24.** Peso sumergido de las partículas de sedimento.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.8.2.5. Cálculo de datos**

Una vez terminados los ensayos de laboratorio y obtenidos los resultados de los ensayos para cada muestra se adecuaron los datos obtenidos a las diferentes ecuaciones de estudio de transporte de sedimentos en fondo y de esta forma se consiguieron las respuestas de sedimentación para cada muestra estudiada en laboratorio.

#### **2.8.2.6. Procesamiento de datos**

Se realizó el procesamiento de datos del levantamiento topográfico del lugar de estudio en el programa AutoCAD Civil 3d y obtener los planos del lugar de estudio.

Los resultados obtenidos de cada una de las muestras de sedimentación se procesaron al programa de Microsoft Excel para ser comparados a través de tablas estadísticas.

## **2.9. Plan de análisis estadístico e interpretación de datos**

### **2.9.1. Análisis estadístico**

De las muestras extraídas de las partículas de sedimento en fondo en las inmediaciones del puente Motupe se realizaron distintos cálculos y análisis para estimar la cantidad de sedimentos que se transportan en un determinado tiempo.

Con la realización del levantamiento topográfico logramos conocer la topografía del lugar y conocer la sección del río, donde estos detalles de la sección del río fueron anotados en hojas de cálculo para determinar los distintos parámetros hidráulicos de dicha sección.

Y con el desarrollo de los distintos ensayos de laboratorio se realizaron hojas de cálculo para anotar datos y respuestas y ser graficadas a través de tablas estadísticas de comparación como pueden ser las distintas curvas granulométricas.

### **2.9.2. Interpretación de los datos**

Los resultados adquiridos mediante los distintos ensayos realizados en el laboratorio para cada muestra de material tomado en campo, fueron adecuados a las diferentes ecuaciones de estudio de transporte de sedimentos en fondo para realizar la comparación de resultados de cada muestra a través de tablas estadísticas en el programa Microsoft Excel.

## **2.10. Principios éticos**

### **2.10.1. Ética de la recolección de datos**

La presente investigación se ha realizado de manera ordenada y secuencial de acuerdo al formato brindado por la Universidad Señor de Sipán. Para el desarrollo de la base teórica se está recolectando datos de información actualizada de tesis, artículos, papers, páginas web; previa citación del autor.

Para el desarrollo del levantamiento topográfico de dicha investigación se contara con equipos calibrados como pueden ser nivel, estación total, teodolito. Y para la toma de muestras se contará con un muestreador de sedimentos realizado por el alumno que está desarrollando el presente proyecto.

### **2.10.2. Ética de la publicación**

Se han respetado las normas técnicas para el desarrollo de los distintos ensayos y estudios, por lo que el autor de la presente investigación se encuentra seguro de los resultados obtenidos el cual merece un reconocimiento por el esfuerzo entregado para su desarrollo y porque la presente investigación también va servir como punto de apoyo para posteriores estudios.

### **2.10.3. Ética de aplicación**

La presente investigación va generar una serie de beneficios en el ámbito social, económico y de impacto ambiental; dependiendo de quien se va tomar el derecho de utilizar los resultados obtenidos de la investigación.

## **2.11. Criterios de rigor científico**

### **2.11.1. Criterios generales**

El presente proyecto de investigación viene siendo realizado de manera ordenada y a la vez asesorada por un especialista en la rama de ingeniería hidráulica para así ir tomando un mayor conocimiento sobre las teorías del transporte de sedimentos y mejorar el trabajo de investigación continuamente mediante la asesoría brindada.

### **2.11.2. Criterios de confiabilidad**

Esta investigación se desarrolló con exactitud y precisión, garantizando los resultados obtenidos, estos resultados fueron obtenidos a través de distintos ensayos y estudios que han venido siendo asesorados por especialistas en el tema para un desarrollo de cada ítem de la presente investigación.

### **2.11.3. Criterios de credibilidad**

Se realizó el reconocimiento de campo y extracción de muestras en puntos específicos del lugar de estudio para así tener una información correcta del trabajo de campo, procesamiento de datos en gabinete y

ensayos de laboratorio; los cuales han sido desarrollados con la mayor precisión posible para garantizar los resultados obtenidos.

#### **2.12. Validación y Confiabilidad de los instrumentos de los formatos creados**

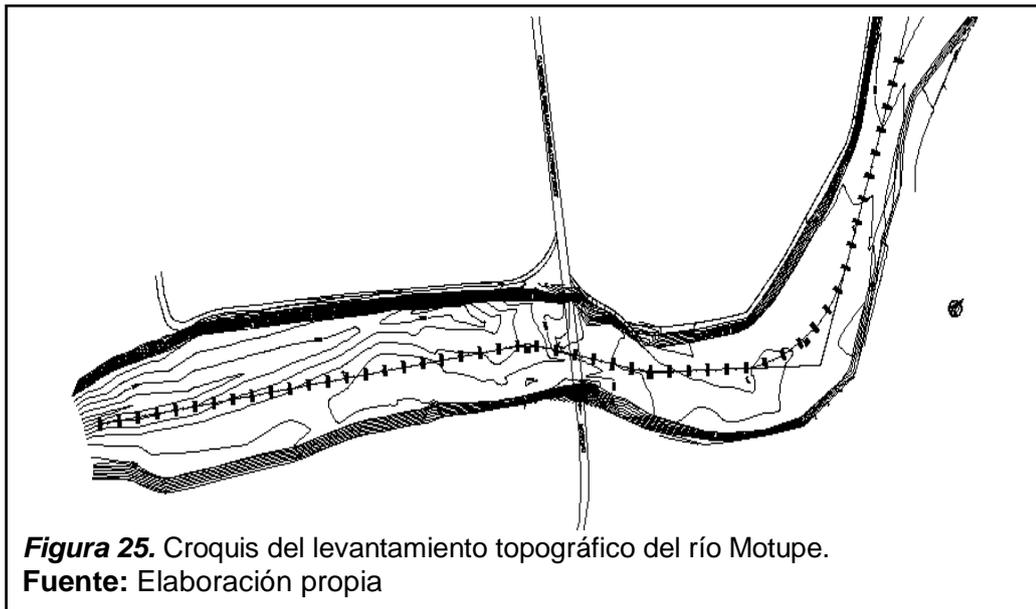
Para el desarrollo de la presente investigación del Estudio Comparativo del Transporte de Sedimentos en Fondo en las Inmediaciones del Puente Motupe no se realizó la validación de documentos, porque se utilizaron los formatos para los ensayos de granulometría, densidad, contenido de humedad, peso específico; del laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, brindados por el técnico de laboratorio.

### III. RESULTADOS

### III.RESULTADOS

#### 3.1.Levantamiento topográfico del lugar de estudio

Se realizó el levantamiento topográfico del lugar con la finalidad de conocer la topografía del lugar y obtener las secciones transversales para indicar los puntos donde se van a obtener las muestras de los sedimentos en fondo. También se realiza con la finalidad de conocer las diferentes pendientes, tirante hidráulico, área de estudio, rugosidad.



**Figura 25.** Croquis del levantamiento topográfico del río Motupe.  
**Fuente:** Elaboración propia

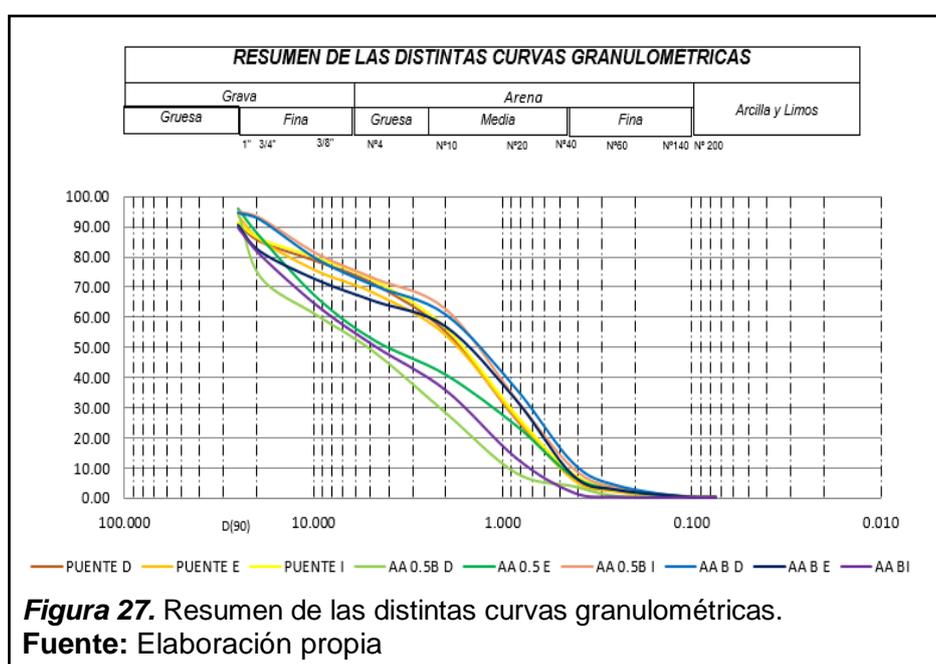
El levantamiento topográfico se realizó en la cuenca del río Motupe tomando como referencia el puente Motupe en un área de 1km (500 metros aguas arriba del puente Motupe y 500 metros aguas abajo del ya mencionado anteriormente). (Ver anexo 6).



**Figura 26.** Equipo topográfico – Estación Total.  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2. Distribución granulométrica de los sedimentos en fondo tomados en campo

Los ensayos de la distribución granulométrica de las muestras tomadas en fondo en las inmediaciones del puente Motupe se realizaron con la finalidad de obtener y separar los diferentes tamaños o diámetros de las muestras tomadas en el lugar de estudio a través de los diferentes tamices estándar. (Ver anexo 4).



**Figura 27.** Resumen de las distintas curvas granulométricas.  
**Fuente:** Elaboración propia

La toma de muestras se realizó en 9 puntos estratégicos según lo estipula el manual de puentes en el ítem de estudios de hidrología y de hidráulica.

Las muestras que se han tomado para el estudio de granulometría, se han extraído aguas arriba del puente Motupe y a una distancia B (ancho promedio del río) y están ubicadas en las siguientes cotas:

- Tres muestras en el eje del puente (en el borde izquierdo del puente, eje del puente y en el borde derecho del puente).
- Tres muestras a una distancia 0.5 B del río (en el borde izquierdo del río, en el eje del río y en el borde derecho del río).
- Tres muestras a una distancia B del río (en el borde izquierdo del río, en el eje del río y en el borde derecho del río).



**Figura 28.** Tamizado de las muestras de sedimento.

**Fuente:** Elaboración propia

Los ensayos de granulometría se realizaron con la finalidad de obtener los diferentes diámetros de las partículas de sedimentos y seleccionar los diámetros que se van utilizar en sus distintas ecuaciones de estudio, entre los diámetros obtenidos tenemos. (Ver tabla 9, 10, 11)

**Tabla 9.***Identificación de los distintos diámetros en el puente*

<b>MUESTRAS EN EL PUENTE</b>	<b>DÍAMETRO D</b>	<b>FECHA DE EXTRACCIÓN 15/03/17</b>	<b>DÍAMETRO MEDIO</b>
<b>PUENTE LADO DERECHO</b>	D40	1.2	9
	D50	1.8	
	D90	24	
<b>EJE DEL PUENTE</b>	D40	1.25	8.35
	D50	1.8	
	D90	22	
<b>PUENTE LADO IZQUIERDO</b>	D40	1.2	9.3
	D50	1.7	
	D90	25	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 9 observamos los diámetros obtenidos a través del estudio de granulometría en los 3 puntos del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 10.***Identificación de los distintos diámetros a una distancia  $D=0.5B$  de la longitud del puente*

<b>MUESTRAS A UNA <math>D=0.5B</math> DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>	<b>DÍAMETRO D</b>	<b>FECHA DE EXTRACCIÓN 19/03/17</b>	<b>DÍAMETRO MEDIO</b>
<b>AGUAS ARRIBA 0.5B LADO DERECHO</b>	D40	3.5	10.37
	D50	4.6	
	D90	23	
<b>AGUAS ARRIBA 0.5B EJE</b>	D40	2	9
	D50	4	
	D90	21	
<b>AGUAS ARRIBA 0.5B LADO IZQUIERDO</b>	D40	1.1	4.47
	D50	1.4	
	D90	10.9	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 10 observamos los diámetros obtenidos a través del estudio de granulometría en los 3 puntos a una distancia  $0.5B$  aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 11.***Identificación de los distintos diámetros a una distancia  $D=B$  de la longitud del puente*

<b>MUESTRAS A UNA <math>D= B</math> DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>	<b>DÍAMETRO D</b>	<b>FECHA DE EXTRACCIÓN 31/03/17</b>	<b>DÍAMETRO MEDIO</b>
<b>AGUAS ARRIBA B LADO DERECHO</b>	D40 D50 D90	0.95 1.5 10.8	4.42
<b>AGUAS ARRIBA B EJE</b>	D40 D50 D90	1.1 1.7 25	9.27
<b>AGUAS ARRIBA B LADO IZQUIERDO</b>	D40 D50 D90	2.8 4.5 25	10.77

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 11 se observa los diámetros obtenidos a través del estudio de granulometría en los 3 puntos a una distancia B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

### **3.3. Estudio de las diferentes muestras de sedimentos en fondo tomadas en campo a través de los diferentes ensayos de laboratorio**

Las distintas muestras de sedimentos en fondo se estudiaron en el laboratorio de la Universidad Señor de Sipán entre las muestras se obtuvo: el peso de material seco, contenido de humedad, peso específico, peso sumergido. (Ver anexo 4).

Valores de peso específico en  $g/cm^3$ , para las muestras de sedimentos extraídas en fondo que pasan la malla N°4 (ver tabla 12, 13, 14).

**Tabla 12.***Valores de peso específico en  $g/cm^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas en el puente Motupe que pasan la malla N°4.*

<b>Muestras en el puente Motupe</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Fecha 15/03/2017</b>
Puente lado derecho	$\gamma_s$	2.183
Eje del puente	$\gamma_s$	2.724
Puente lado izquierdo	$\gamma_s$	2.499

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 12 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras que pasan la malla N°4 en los 3 puntos del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 13.**

*Valores de peso específico en  $g/cm^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia  $D= 0.5B$  de la longitud del puente Motupe que pasan la malla N°4.*

<b>Muestras a una distancia D=0.5B de la longitud del puente Motupe</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Fecha 19/03/2017</b>
Aguas arriba 0.5B lado derecho	$\gamma_s$	2.769
Aguas arriba 0.5B eje	$\gamma_s$	2.811
Aguas arriba 0.5B lado izquierdo	$\gamma_s$	2.709

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 13 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras que pasan la malla N°4 en los 3 puntos a una distancia 0.5B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 14.** *Valores de peso específico en  $g/cm^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia  $D= B$  de la longitud del puente Motupe que pasan la malla N°4.*

<b>Muestras a una distancia D= B de la longitud del puente Motupe</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Fecha 31/03/2017</b>
Aguas arriba B lado derecho	$\gamma_s$	2.827
Aguas arriba B eje	$\gamma_s$	2.523
Aguas arriba B lado izquierdo	$\gamma_s$	2.695

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 14 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras que pasan la malla N°4 en los 3 puntos a una distancia B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

Valores de peso específico en  $\text{g/cm}^3$ , para las muestras de sedimento extraídas en fondo retenidos en la malla N°4 (ver tabla 15, 16, 17).

**Tabla 15.**

*Valores de peso específico en  $\text{g/cm}^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas en el puente Motupe retenidas en la malla N°4.*

<b>Muestras en el puente Motupe</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Fecha 15/03/2017</b>
Puente lado derecho	$\gamma_s$	2.692
Eje del puente	$\gamma_s$	2.689
Puente lado izquierdo	$\gamma_s$	2.687

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 15 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras retenidas en la malla N°4 en los 3 puntos del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 16.**

*Valores de peso específico en  $\text{g/cm}^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia  $D=0.5B$  de la longitud del puente Motupe retenidas en la malla N°4.*

<b>Muestras a una distancia <math>D=0.5B</math> de la longitud del puente Motupe</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Fecha 19/03/2017</b>
Aguas arriba 0.5B lado derecho	$\gamma_s$	2.733
Aguas arriba 0.5B eje	$\gamma_s$	2.715
Aguas arriba 0.5B lado izquierdo	$\gamma_s$	2.713

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 16 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras retenidas en la malla N°4 en los 3 puntos a una distancia 0.5B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 17.**

Valores de peso específico en  $g/cm^3$  para las muestras de sedimento en fondo extraídas a una distancia  $D= B$  de la longitud del puente Motupe retenidas en la malla N°4.

Muestras a una distancia $D= B$ de la longitud del puente Motupe	Peso específico	Fecha 31/03/2017
Aguas arriba B lado derecho	$\gamma_s$	2.711
Aguas arriba B eje	$\gamma_s$	2.697
Aguas arriba B lado izquierdo	$\gamma_s$	2.744

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 17 se observa los diferentes pesos específicos de las muestras que pasan la malla N°4 en los 3 puntos a una distancia B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

Se realizó el ensayo del contenido de humedad con el fin de obtener la cantidad de agua absorbida por las partículas de sedimento. (Ver en las tablas 18, 19, 20).

**Tabla 18.**

Contenido de humedad promedio en el puente.

		PUENTE			
1	Número de tara	Nº	D	E	I
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	2751	3090	2775.00
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	2569	2876.5	2618.60
4	Peso del Agua	gr.	182	213.5	156.40
5	Peso de tara	gr.	60.4	66.5	66.60
6	Peso muestra seca (horno)	gr.	2508.6	2810	2552.00
7	Contenido de humedad	%	7.26	7.60	6.13
8	Contenido de humedad (Promedio)	%	7.26	7.60	6.13

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 18 se observa los diferentes contenidos de humedad de las muestras en los 3 puntos en el puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 19.**

*Contenido de humedad promedio a una distancia 0.5B aguas arriba del puente.*

<b>0.5B AGUAS ARRIBA</b>					
<b>1</b>	Número de tara	Nº	0.5B D	0.5B E	0.5B I
<b>2</b>	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	3010.00	3232.00	2962.00
<b>3</b>	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	2832.00	3061.00	2716.00
<b>4</b>	Peso del Agua	gr.	178.00	171.00	246.00
<b>5</b>	Peso de tara	gr.	72.20	68.50	66.50
<b>6</b>	Peso muestra seca (horno)	gr.	2759.80	2992.50	2649.50
<b>7</b>	Contenido de humedad	%	6.45	5.71	9.28
<b>8</b>	Contenido de humedad (Promedio)	%	6.45	5.71	9.28

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 19 se observa los diferentes contenidos de humedad de las muestras en los 3 puntos a una distancia 0.5B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 20.***Contenido de humedad promedio a una distancia B aguas arriba del puente.*

<b>B AGUAS ARRIBA</b>					
<b>1</b>	Número de tара	Nº	B D	B E	B I
<b>2</b>	Peso muestra húmeda + peso de tара	gr.	2611.00	2720.00	3029.00
<b>3</b>	Peso muestra seca (horno) + peso de tара	gr.	2373.00	2498.00	2917.00
<b>4</b>	Peso del Agua	gr.	238.00	222.00	112.00
<b>5</b>	Peso de tара	gr.	66.50	66.80	68.25
<b>6</b>	Peso muestra seca (horno)	gr.	2306.50	2431.20	2848.75
<b>7</b>	Contenido de humedad	%	10.32	9.13	3.93
<b>8</b>	Contenido de humedad (Promedio)	%	10.32	9.13	3.93

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 20 se observa los diferentes contenidos de humedad de las muestras en los 3 puntos a una distancia B aguas arriba de la longitud del puente (lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo).

**Tabla 21.**  
*Parámetros hidráulicos*

Fechas	Punto	d (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	Rh=A/P	T (m)	BM=A/d	"n"	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	q=Q/B	S (‰)
15/03/2017	L.D PUENTE	1.7	125.45	72.67	1.73	71.78	73.79	0.005595	50.00	0.40	0.68	4.49
	E. PUENTE	1.95	125.45	72.67	1.73	71.78	64.33	0.005595	50.01	0.40	0.78	4.49
	L.I PUENTE	2.50	125.45	72.67	1.73	71.78	50.18	0.005595	50.10	0.40	1.00	4.49
19/03/2017	0.5B AA L.D	2.65	204.98	87.25	2.35	86.01	77.35	0.018814	45.00	0.22	0.58	4.49
	0.5B AA E	2.75	204.98	87.25	2.35	86.01	74.54	0.018814	45.00	0.22	0.60	4.49
	0.5B AA L.I	2.74	204.98	87.25	2.35	86.01	74.81	0.018814	45.00	0.22	0.60	4.49
31/03/2017	B AA L.D	3.32	260.82	92.95	2.81	91.6	78.56	0.030133	51.00	0.20	0.65	4.49
	B AA E	3.2	260.82	92.95	2.81	91.6	81.51	0.030133	51.00	0.20	0.63	4.49
	B AA L.I	3.05	260.82	92.95	2.81	91.6	85.51	0.030133	51.00	0.20	0.60	4.49

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 21 se observa los diferentes parámetros hidráulicos obtenidos a través de sus ensayos realizados en laboratorio de todas las muestras obtenidas en campo.

**Tabla 22.**

*Transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo – Puente Motupe, para las muestras extraídas por fondo que pasan la malla N°4.*

<b>MUESTRAS EN EL PUENTE</b>						
Fechas de extracción	Ubicación	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Ancho Medio (BM)	Gasto líquido (m <sup>3</sup> /s)	Caudal unitario q=Q/B	G (kg/s-m)
15/03/2017	L.D PUENTE	2.18	73.79	50.00	0.68	1.48
	E. PUENTE	2.72	64.33	50.01	0.78	2.12
	L.I PUENTE	2.50	50.18	50.10	1.00	2.50
<b>MUESTRAS A UNA D = 0.5B DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>						
19/03/2017	0.5B AA L.D	2.77	77.35	45.00	0.58	1.61
	0.5B AA E	2.81	74.54	45.00	0.60	1.70
	0.5B AA L.I	2.71	74.81	45.00	0.60	1.63
<b>MUESTRAS A UNA D = B DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>						
31/03/2017	B AA L.D	2.83	77.35	51.00	0.65	1.83
	B AA E	2.52	74.54	51.00	0.63	1.58
	B AA L.I	2.70	74.81	51.00	0.60	1.61

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 22 se observa los diferentes resultados del transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo, que a través del ensayo de granulometría se toma solo las muestras que pasan la malla N°4.

**Tabla 23.**

*Transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo – Puente Motupe, para las muestras extraídas por fondo retenidas en la malla N°4.*

<b>MUESTRAS EN EL PUENTE</b>						
Fechas de extracción	Ubicación	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Ancho Medio (BM)	Gasto líquido (m <sup>3</sup> /s)	Caudal unitario q=Q/B	G (kg/s-m)
15/03/2017	L.D PUENTE	2.69	73.79	50.00	0.68	1.82
	E. PUENTE	2.69	64.33	50.01	0.78	2.09
	L.I PUENTE	2.69	50.18	50.10	1.00	2.68
<b>MUESTRAS A UNA D = 0.5B DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>						
19/03/2017	0.5B AA L.D	2.73	77.35	45.00	0.58	1.59
	0.5B AA E	2.71	74.54	45.00	0.60	1.64
	0.5B AA L.I	2.71	74.81	45.00	0.60	1.63
<b>MUESTRAS A UNA D = B DE LA LONGITUD DEL PUENTE</b>						
31/03/2017	B AA L.D	2.71	77.35	51.00	0.65	1.76
	B AA E	2.70	74.54	51.00	0.63	1.69
	B AA L.I	2.74	74.81	51.00	0.60	1.64

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 23 se observa los diferentes resultados del transporte de sedimentos en fondo cuantificado en campo, que a través del ensayo de granulometría se toma solo las muestras que son retenidas en la malla N°4.

### 3.4. Análisis de los resultados de laboratorio obtenidos a través de las diferentes ecuaciones para el estudio de transporte de sedimentos en fondo

Los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos de laboratorio se adecuaron a las distintas ecuaciones para el estudio de transporte de sedimentos en fondo, en donde los resultados obtenidos se muestran en la tabla número 21.

**Tabla 24.**

*Resultados de las distintas ecuaciones en fondo del transporte de sedimentos.*

Fecha de extracción	Ubicación	Cuantificado en campo (kg/m.s)	Ecuaciones empíricas (kg/m.s)				
			Engelund y Hansen	Schoklistch	Meyer – Meter y Müller	Dubois y Straub	Levi
15/03/2017	Lado derecho del puente	1.48	1.7339	0.5096	-4.4441	8.8963	0.0300
	Eje del puente	2.12	1.8237	0.5847	-3.7970	8.8963	0.0357
	Lado izquierdo del puente	2.50	2.9572	0.7510	-4.7182	9.2859	0.0298
19/03/2017	0.5 B Aguas arriba lado derecho	1.61	0.3398	0.4376	-7.4167	5.9900	0.0045
	0.5 B Aguas arriba eje	1.70	0.4096	0.4541	-4.9457	6.6519	0.0046
	0.5 B Aguas arriba lado izquierdo	1.63	1.1886	0.4524	-5.7751	14.6183	0.0044
31/03/2017	B Aguas arriba lado derecho	1.83	1.1460	0.4883	-5.8844	16.5795	0.0029
	B Aguas arriba eje	1.58	1.0244	0.4706	-4.7246	15.0939	0.0027
	B Aguas arriba lado izquierdo	1.61	0.3456	0.4486	-8.0370	7.2733	0.0029

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 24 se observa los diferentes resultados de las ecuaciones de transporte de sedimentos, donde se estimó cual es la ecuación de mayor reajuste a la cantidad de material cuantificado en campo.

**3.5. Desarrollo en el programa de Microsoft Excel cuadros comparativos de las respuestas obtenidas del estudio de sedimentos en fondo por sus diferentes ecuaciones.**

Los resultados obtenidos de transporte de sedimentos en fondo a través de sus distintas ecuaciones de estudio sirven para ver cuál es la ecuación de mejor reajuste a la muestra de sedimentos cuantificada en campo.

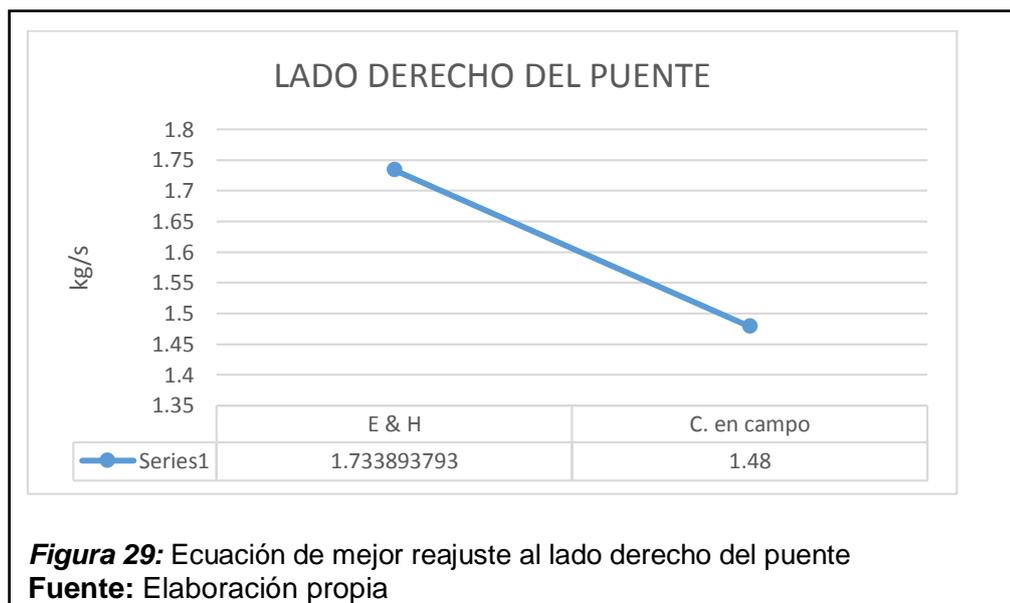
A continuación se van a mostrar gráficas solamente de la muestra de mayor reajuste con la muestra de análisis cuantificado en campo, el detalle de todas las ecuaciones con sus resultados se observa en una tabla estadística comparativa en el anexo 5.

**Tabla 25.**  
*Ecuación de mejor reajuste en el lado derecho del puente*

LADO DERECHO DEL PUENTE		
FECHA	E & H	C. en campo
15/03/2017	1.7338938	1.48

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó en el lado derecho del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



**Figura 29:** Ecuación de mejor reajuste al lado derecho del puente

**Fuente:** Elaboración propia

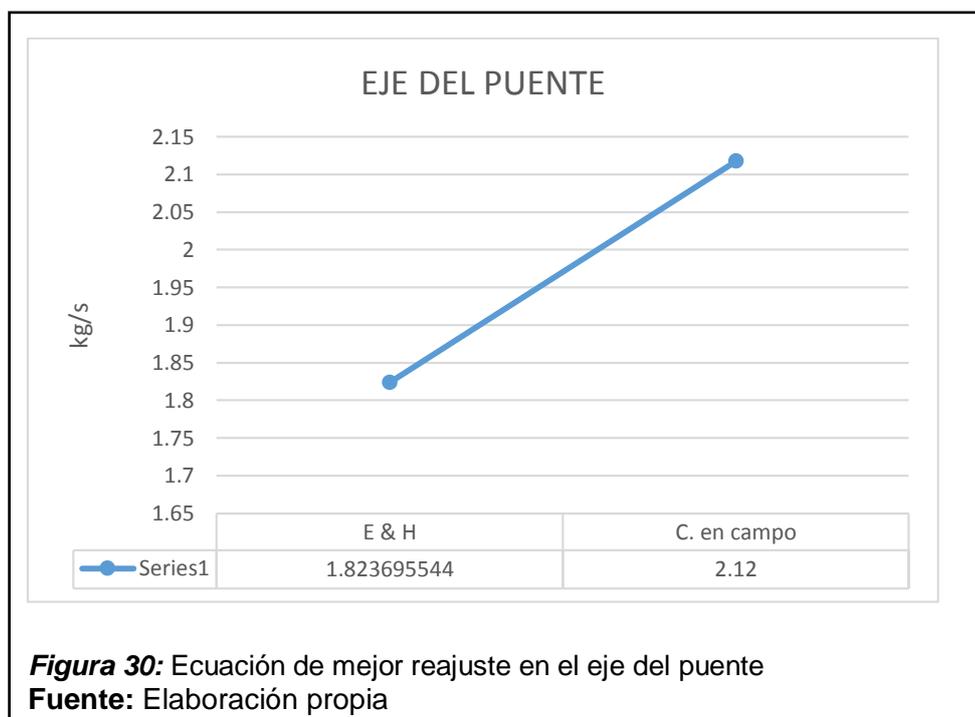
**Tabla 26.**

*Ecuación de mejor reajuste en el eje del puente*

<b>EJE DEL PUENTE</b>		
FECHA	E & H	C. en campo
15/03/2017	1.8236955	2.12

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó en el eje del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



**Figura 30:** Ecuación de mejor reajuste en el eje del puente

**Fuente:** Elaboración propia

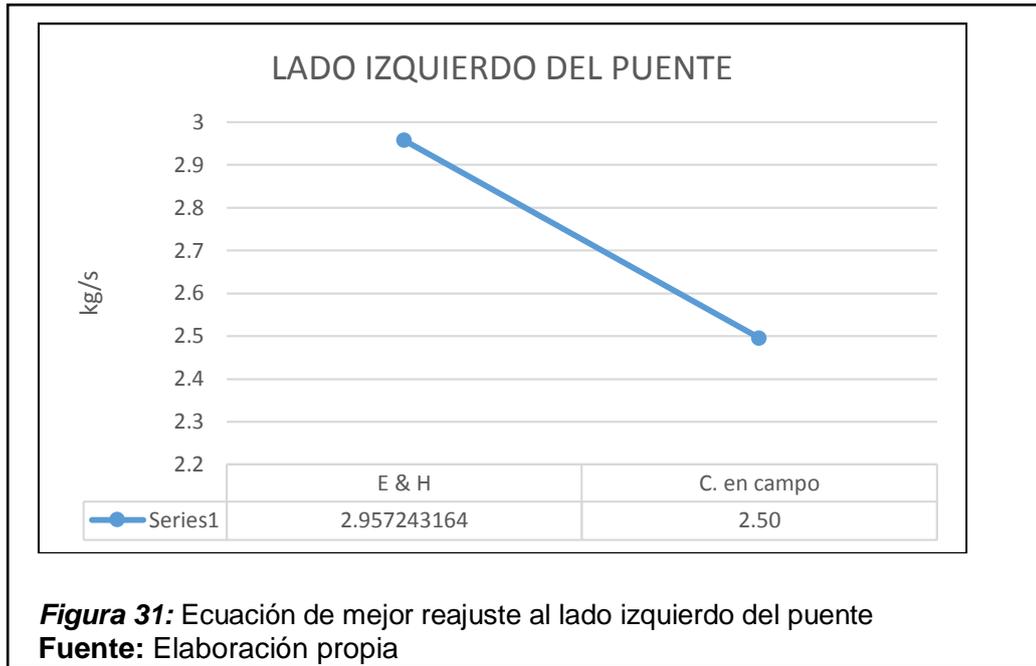
**Tabla 27.**

*Ecuación de mejor reajuste en el lado izquierdo del puente*

<b>LADO IZQUIERDO DEL PUENTE</b>		
FECHA	E & H	C. en campo
15/03/2017	2.9572432	2.50

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó en el lado izquierdo del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



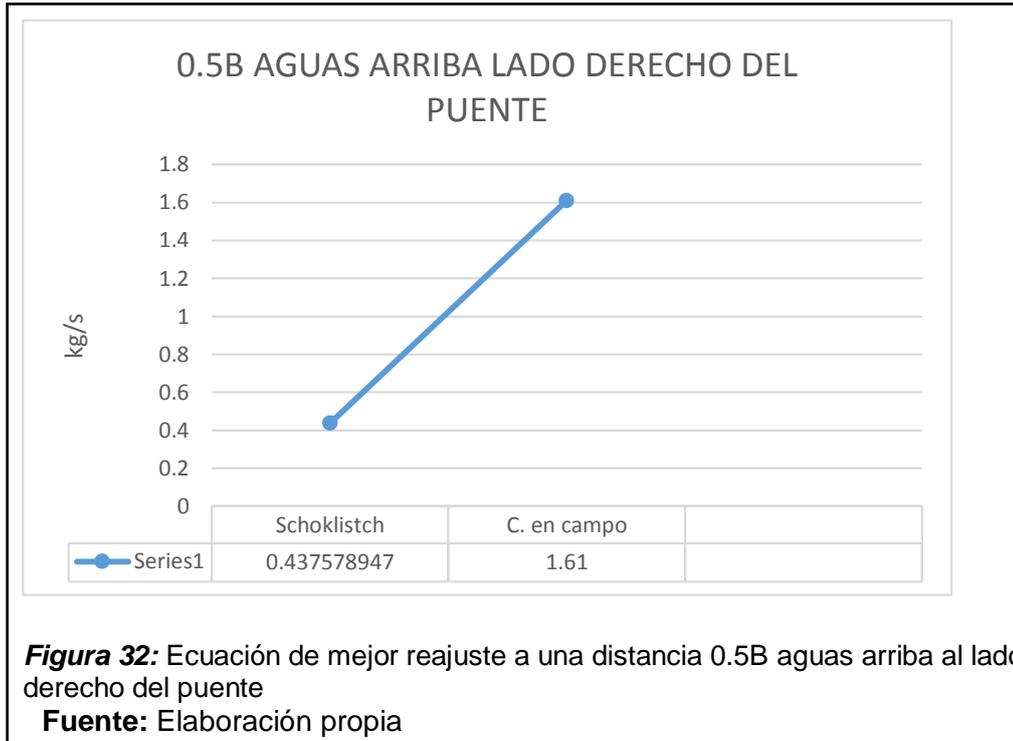
**Tabla 28.**

*Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba en el lado derecho del puente*

<b>0.5B AGUAS ARRIBA LADO DERECHO DEL PUENTE</b>		
FECHA	Schoklistch	C. en campo
19/03/2017	0.437578947	1.61

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de 0.5B aguas arriba del lado derecho del puente fue la ecuación de Schoklistch.

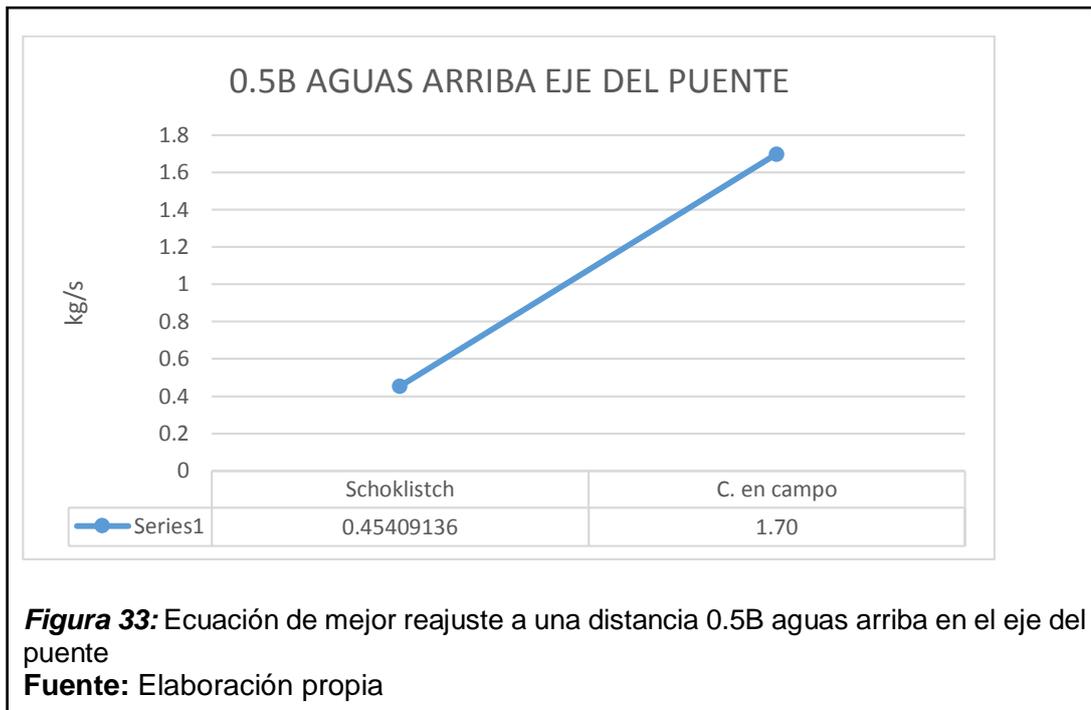


**Tabla 29.**  
*Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba en el eje del puente*

<b>0.5B AGUAS ARRIBA EJE DEL PUENTE</b>		
FECHA	Schoklistch	C. en campo
19/03/2017	0.45409136	1.70

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de 0.5B aguas arriba en el eje del puente fue la ecuación de Schoklistch.



**Figura 33:** Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba en el eje del puente

**Fuente:** Elaboración propia

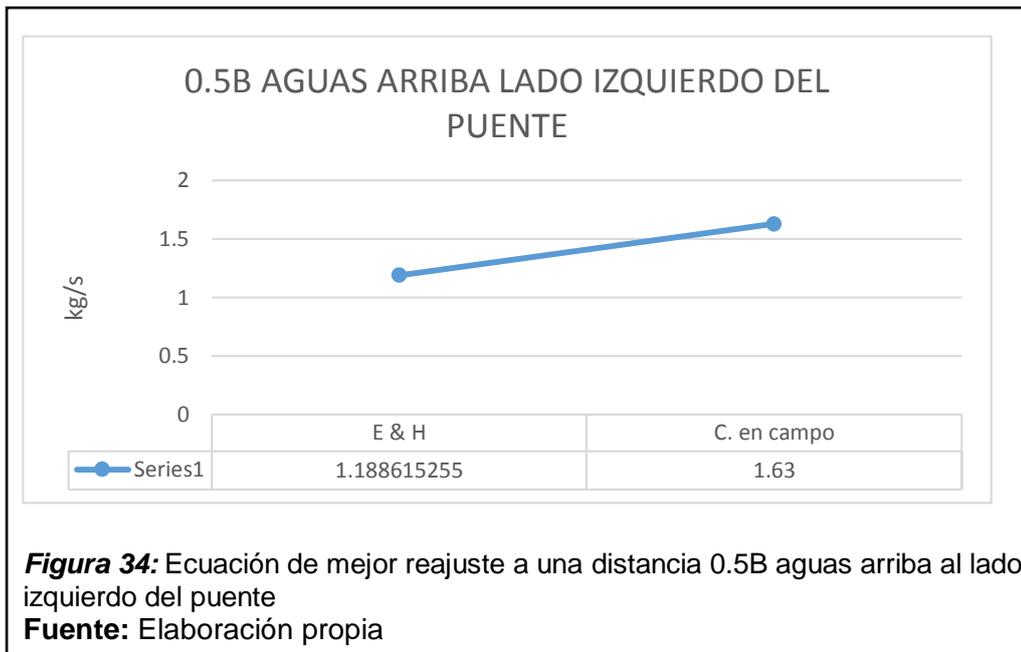
**Tabla 30.**

*Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba en el lado izquierdo del puente*

<b>0.5B AGUAS ARRIBA LADO IZQUIERDO DEL PUENTE</b>		
FECHA	E & H	C. en campo
19/03/2017	1.188615255	1.63

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de 0.5B aguas arriba del lado izquierdo del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



**Tabla 31.**

*Ecuación de mejor reajuste a una distancia B aguas arriba en el lado derecho del puente*

<b>B AGUAS ARRIBA LADO DERECHO DEL PUENTE</b>		
FECHA	E & H	C. en campo
31/03/2017	1.146039962	1.83

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de B aguas arriba del lado derecho del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



**Figura 35:** Ecuación de mejor reajuste a una distancia B aguas arriba al lado derecho del puente

**Fuente:** Elaboración propia

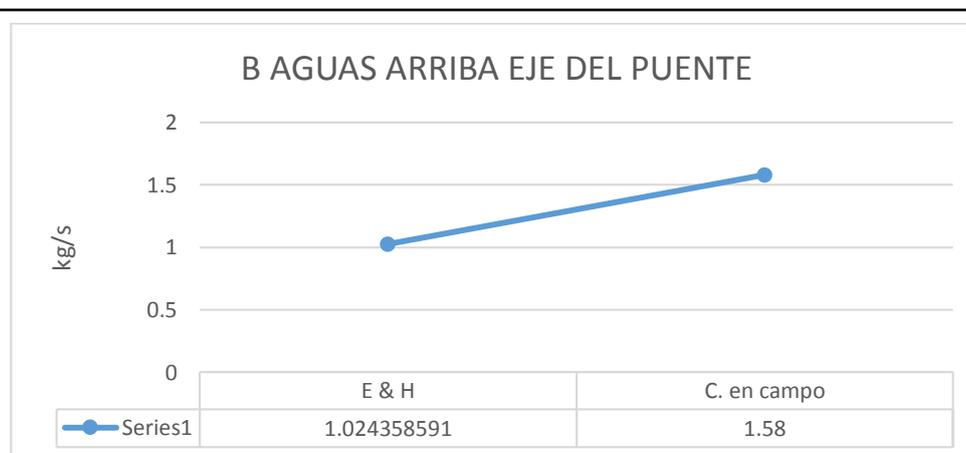
**Tabla 32.**

*Ecuación de mejor reajuste a una distancia B aguas arriba en el eje del puente*

<b>B AGUAS ARRIBA EJE DEL PUENTE</b>		
FECHA	E & H	C. en campo
31/03/2017	1.024358591	1.58

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de B aguas arriba en el eje del puente fue la ecuación de Engelund y Hansen.



**Figura 36:** Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba en el eje del puente

**Fuente:** Elaboración propia

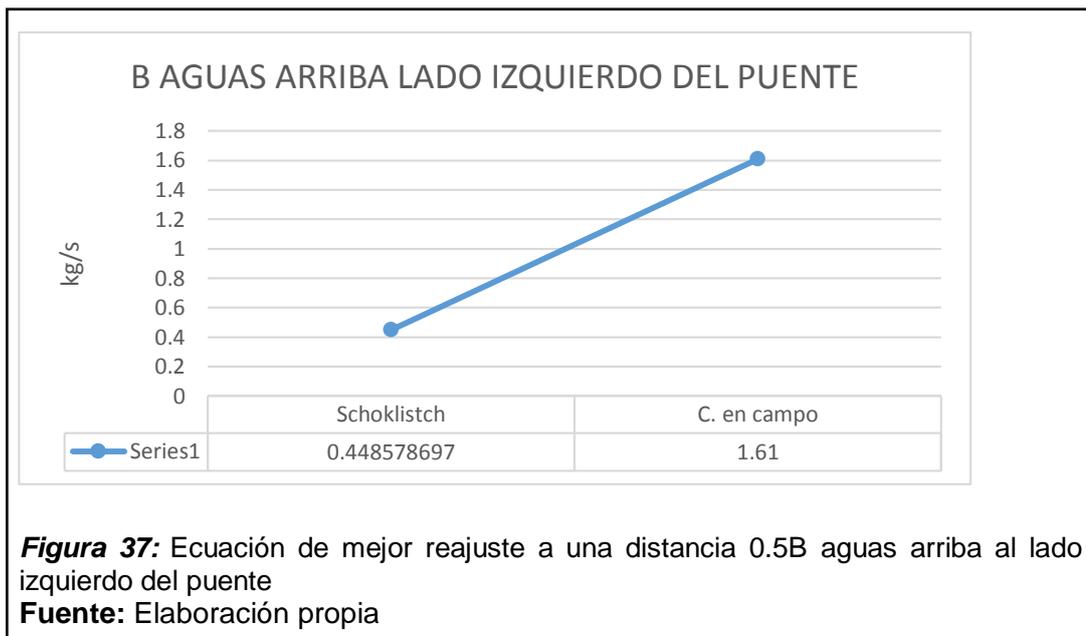
**Tabla 33.**

*Ecuación de mejor reajuste a una distancia B aguas arriba en el lado izquierdo del puente*

<b>B AGUAS ARRIBA LADO IZQUIERDO DEL PUENTE</b>		
FECHA	Schoklistch	C. en campo
31/03/2017	0.448578697	1.61

**Fuente:** Elaboración propia

La ecuación de mejor reajuste con el análisis cuantificado en campo que se utilizó a una distancia de B aguas arriba del lado izquierdo del puente fue la ecuación de Schoklistch.



**Figura 37:** Ecuación de mejor reajuste a una distancia 0.5B aguas arriba al lado izquierdo del puente

**Fuente:** Elaboración propia

## IV. DISCUSIÓN

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del presente proyecto de investigación se comparó con las curvas de nivel del Google Earth, llegando a concluir que tienen una similitud de 60% por lo que las curvas de nivel en el Google Earth presentan un margen de error respecto a las alturas del terreno, cotas y no tienen datos actualizados.

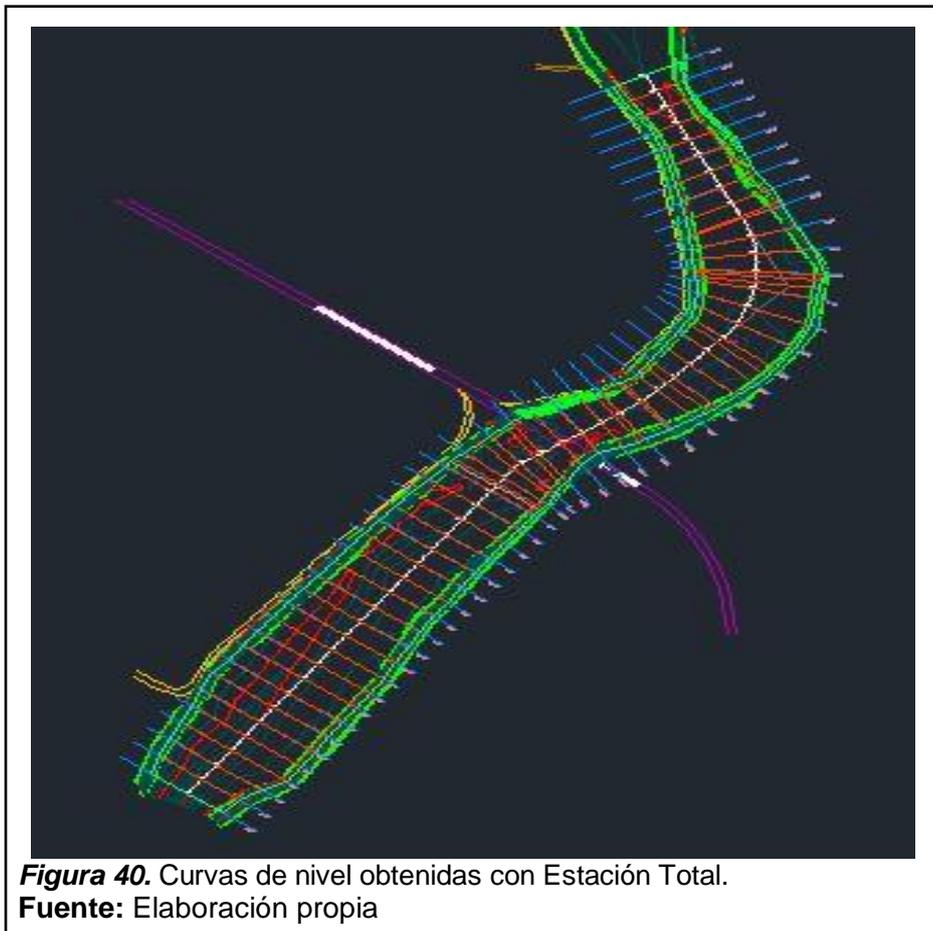
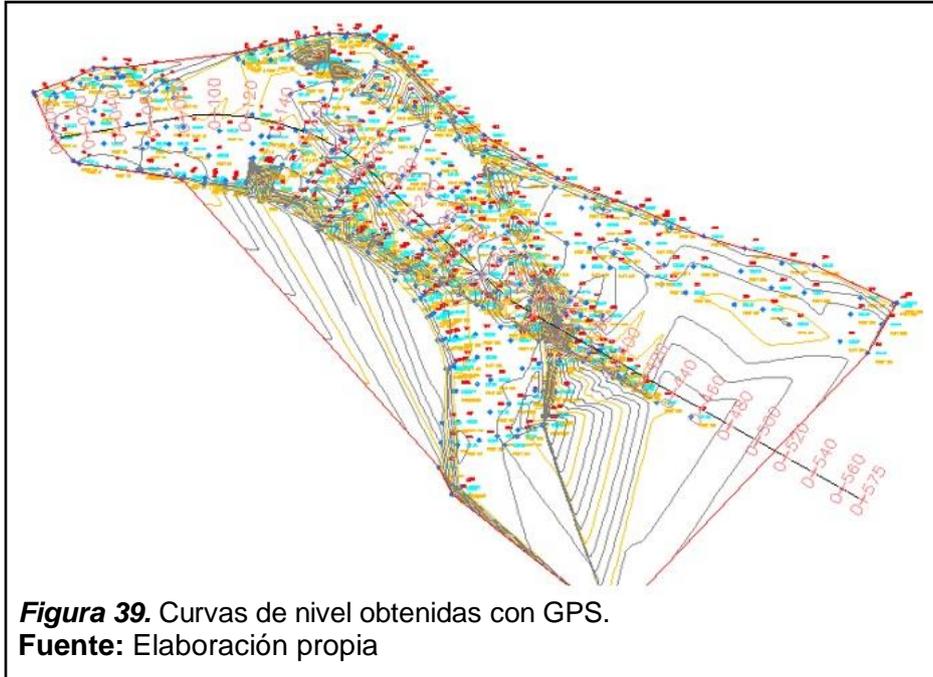
El estudio topográfico también se comparó con un levantamiento realizado con GPS el cual también presentaba margen de error en cuanto a las alturas del terreno, cotas, y ubicación de puntos, llegando a concluir que el levantamiento topográfico realizado con GPS presenta una similitud de 70%.

Se optó por trabajar con el levantamiento topográfico realizado con estación total porque a través de ese equipo se obtuvieron datos más exactos y precisos para la obtención de topografía del terreno, pendientes, áreas, volúmenes.



**Figura 38.** Curvas de nivel obtenidas de Google Earth.

**Fuente:** [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)



#### 4.2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico que se realizó en la presente investigación permite determinar el tipo de material transportado en la cuenca del río Motupe, donde a diferencia de otras investigaciones los ríos transportan limos y arcillas; y en la presente investigación se realizaron los ensayos según las normas ASTM NTP para lograr identificar cual es el tipo de material transportando en la cuenca del río Motupe, logrando identificar que a lo largo del cauce del río Motupe se transportan gravas y arenas.

Para los ensayos de granulometría en la mayoría de investigaciones se realiza con una proporción de cuarteo de toda la muestra obtenida en campo; a diferencia del ensayo granulométrico por transporte de sedimentos se realiza con toda la muestra obtenida en el lugar de estudio.



**Figura 41.** Cuarteo de material de agregado grueso y fino para ensayo de granulometría.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 42.** Material de agregado grueso y fino en su totalidad para ensayos de granulometría.

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3. Ensayos de laboratorio

Los distintos ensayos de laboratorio que se realizaron a las muestras tomadas de sedimentos en fondo extraídas en campo permite obtener las diferentes características del material como su peso húmedo que viene hacer el peso obtenido en campo, su peso seco que es el peso después de secarse al horno en un tiempo de 24 horas y así obtener su contenido de humedad. También se realizó el ensayo de peso específico para agregado fino a través de fiolas y para agregado grueso a través de una canastilla. Y una vez realizados los ensayos a todas las muestras se obtuvieron resultados precisos para cada muestra, donde los resultados que se obtuvieron se usaron en las ecuaciones de estudio de transporte de sedimentos.



**Figura 43.** Peso específico del agregado fino.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 44.** Peso específico del agregado grueso.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 45.** Peso específico del agregado grueso.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.4. Análisis de los resultados obtenidos de las distintas ecuaciones del transporte de sedimentos**

Los distintos ensayos realizados a las muestras obtenidas en campo se realizaron con la finalidad de obtener los resultados de su densidad, peso específico, granulometría, topografía; y así estos resultados se analizaron a través de sus distintas ecuaciones del transporte de sedimentos como son la ecuación de Engelund y Hanzen, ecuación de Schoklitsch, ecuación de Meyer – Meter y Muller, ecuación de Duboys y Straub y la ecuación de Levi.

Los resultados de cada muestra se van a comparar con cada una de las ecuaciones de estudio y permiten escoger la ecuación de mejor ajuste en cuanto al cálculo de estudio de transporte de sedimentos en fondo.

Estas ecuaciones empíricas que nos permiten estimar el transporte de sedimentos se compararon los resultados de cada muestra para cada una de las ecuaciones con el fin de verificar cual es la ecuación que se reajusta mejor con el transporte de sedimentos cuantificado en campo.

Según las distintas normas para el estudio del transporte de sedimentos nos indican los procedimientos para estimar la ecuación que mejor reajusta o se acerca al resultado de sedimentos cuantificado en campo, donde los resultados con las ecuaciones que se tienen un mejor reajuste se detallan en los siguientes párrafos.

Para las muestras obtenidas en el puente del río Motupe tanto en el lado derecho, en el eje y en el lado izquierdo del mencionado anteriormente se llegó a identificar que la ecuación de mejor reajuste con el transporte de sedimentos cuantificado en campo fue la ecuación de Hengelund y Hanzen.

En las muestra tomadas a una distancia de 0.5B aguas arriba tomando como referencia el río Motupe tanto en el eje y en el lado derecho se llegó a estimar que la ecuación de mejor reajuste con el transporte de sedimentos cuantificado en campo fue la ecuación de Schoklitsch y a la distancia de 0.5B aguas arriba en el lado izquierdo la ecuación de mejor reajuste fue Engelund y Hanzen.

En las muestras obtenidas a una distancia B aguas arriba tomando como referencia el río Motupe se identificó que la ecuación de mejor reajuste con el transporte de sedimentos cuantificado en campo en el eje y en el lado derecho fue la de Engelund y Hanzen; y en el lado izquierdo la ecuación de mejor reajuste con el transporte de sedimentos cuantificado en campo fue la ecuación de Schoklistch.

#### **4.5. Desarrollo de tablas estadísticas comparando los resultados obtenidos de las ecuaciones de transporte de sedimentos en fondo.**

El desarrollo de tablas estadísticas se realizó con el fin de comparar los resultados de cada una de las ecuaciones de transporte de sedimentos en fondo, porque los resultados no son los mismos para cada una de las ecuaciones.

Las muestras obtenidas en las 3 partes específicas como son: en el puente Motupe, a una distancia 0.5B aguas arriba del puente Motupe y a una distancia B aguas arriba del puente mencionado anteriormente, cada uno de estos puntos con su sección transversal de toma de muestras (lado derecho, en el eje y lado izquierdo de río), se llegó a definir que una vez encontrados los resultados para cada muestra con sus respectivas ecuaciones presentan variaciones en sus resultados obtenidos a través de sus distintas ecuaciones de estudio, donde en la normativa de estudios hidrológicos e hidráulicos de un río nos indica de que estos resultados se pueden graficar en una tabla estadística para ver la diferencia de resultados para la misma muestra a través de sus distintas ecuaciones de transporte de sedimentos, y a través de estas tablas nos va ser más fácil identificar cual es la ecuación que presenta un mejor reajuste respecto al transporte de sedimentos cuantificado en campo.

Las tablas estadísticas como se menciona en la normativa nos ayudan a tener un mejor entendimiento sobre cuál fue la ecuación de mejor reajuste que se debe escoger comparado con el resultado de la muestra cuantificada en campo, estas tabla también nos permiten hacer una proyección de la cantidad de sedimentos que se producen en un determinado tiempo y en que fechas es cuando se generan mayor transporte.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## V. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

Se obtuvo las características del río Motupe en las inmediaciones del puente Motupe gracias al levantamiento topográfico realizado en dicho lugar con el fin de conocer todas sus características geométricas, es decir se conocieron los distintos desniveles que presenta el río Motupe a causa de los volúmenes de sedimentación que se generan, sus secciones transversales, y las distintas pendientes que se presentan a lo largo del río Motupe.

Para los distintos ensayos de laboratorio que se realizaron a las muestras extraídas en campo se obtuvieron los distintos contenidos de humedad, la variación de sus pesos específicos tanto para las muestras que son retenidas en la malla número 4 y a las muestras que pasan la malla número 4, con la finalidad de determinar sus diferentes pesos para estudiarlos a través de sus distintas ecuaciones de estudio de sedimentos, así mismo se puede decir que los materiales transportados en el lugar de estudio son gravas y arenas, y a través del ensayo de granulometría se logró obtener los diámetros  $D_{40}$ ,  $D_{50}$  y  $D_{90}$  que son los diámetros que se van utilizar para el estudio de las ecuaciones de transporte de sedimentos.

De los resultados obtenidos de las distintas ecuaciones que se utilizaron para determinar el transporte de sedimentos en fondo en las inmediaciones del puente Motupe se llegó a la conclusión que las ecuaciones que presentaron mejor reajuste a la muestra de transporte de sedimentos cuantificado en campo es la ecuación de Engelund y Hanzen como primer método y la ecuación de Schoklistch como segundo método.

## 5.2. Recomendaciones

Para el levantamiento topográfico se recomienda que se anoten las cotas del eje del río así como del tirante del río con la finalidad de obtener con mayor precisión el área hidráulica, perímetro, topografía exacta; y sobre todo antes de realizar estos trabajos verificar que los equipos estén calibrados y en buen funcionamiento.

Es recomendable al momento de realizar los diferentes ensayos de laboratorio limpiar todos los equipos como los tamices, las fiolas y la canastilla, utilizar agua destilada, calibrar la balanza, verificar el funcionamiento de un termómetro, y colocar las muestras en un lugar seguro con señales para realizar todos los ensayos y evitar las pérdidas de material.

Al momento de procesar los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos, es recomendable que estos resultados se adecuen correctamente y de manera ordenada a las distintas ecuaciones de transporte de sedimentos para obtener los resultados exactos de cada ecuación y evitar las confusiones.

Para un mejor ajuste de los resultados obtenidos se recomienda realizar mediciones en campo en intervalos de tiempo más cortos creando de esta manera una base de datos adecuado que permita correlacionar mejor los resultados que se obtengan.

## REFERENCIAS

- Andrés Fabián Latacunga Chiluzza . (2014).
- Boletín Vías Unal Manizales. (n.d.). Numeración de tamices Sistema U.S Estándar.
- EL Universo. (2013). Sedimentación, mareas y basura agravan inundaciones en la urbe - MAR. 11, 2013 - Comunidad - Noticias de Guayaquil | El Universo. Retrieved July 4, 2017, from <http://www.eluniverso.com/2013/03/11/1/1445/sedimentacion-mareas-basura-agravan-inundaciones-urbe.html>
- Enríquez-beck, J. (2016). PIURA Juan Enríquez-Beck.
- Flores, M. G., & Álvarez, J. A. M. (1987). *“Introduction to River Engineering”*, División de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería UNAM.
- Flores, M. G., & Álvarez, J. A. M. (1996). *Transporte de Sedimentos. Instituto de Ingeniería UNAM. México.*
- Flores, M. G., & Álvarez, J. A. M. (1998). *Origen y Propiedades de los Sedimentos.*
- Forsberg, B. (2013). La Represa Inambari – Transporte de Sedimentos, 4, 1–9.
- Gobierno Regional de Lambayeque. (2016). REDOBLAN ACCIONES CONJUNTAS ANTE FALTA DE AGUA EN TINAJONES. Retrieved June 11, 2017, from <http://www.regionlambayeque.gob.pe/web/noticia/detalle/21359?pass=MTA1Nw==>
- JANET BRÍGIDA, Q. O. (2015). “ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y FONDO Y COMPARACIÓN CON FÓRMULAS EMPIRICAS EN LOS RÍOS PUYANGO-TUMBES Y ZARUMILLA.”
- PAUL FERNANDO, U. M. (2016). Control de Calidad de Agua y Análisis de

Sedimentos en la Microcuenca del Río Tabacay.

Posada, L. (n.d.). Ángulo de reposo de una partícula.

Radio UNR. (2015). Radio Universidad | 103.3 | Programación | Tecnología y Medios | Sistema acústico para medir el transporte de sedimento en ríos. Retrieved June 10, 2017, from <http://www.radio.unr.edu.ar/nota/227/Sistema-acustico-para-medir-el-transporte-de-sedimento-en-rios>

RCN Radio. (2017). Erosión produce 340 millones de toneladas de sedimentos en los ríos de Colombia - RCN Radio. Retrieved July 4, 2017, from <http://www.rcnradio.com/nacional/erosion-produce-340-millones-toneladas-sedimentos-los-rios-colombia/>

Río, E. (2013). Problemas que afectan la Navegabilidad en el Río Guayas, 4–7.

Rpp. (2013). Agua para la agricultura corre riesgo por capacidad de represas. Retrieved June 10, 2017, from <http://rpp.pe/economia/economia/agua-para-la-agricultura-corre-riesgo-por-capacidad-de-represas-noticia-649567>

TATIANA CONSTANZA, G. C. (2014). *MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN RÍOS. EJEMPLOS DE APLICACIÓN POR EL MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS EN EXCEL Y MATLAB.*

Vianca Zeña. (2015). Tumbes: Puente Francos a punto de colapsar | Diario Correo. Retrieved June 10, 2017, from <http://diariocorreo.pe/edicion/tumbes/tumbes-puente-francos-a-punto-de-colapsar-576070/>

# ANEXOS

# ANEXO 1. ESTUDIO HIDROLÓGICO

## ANEXOS

### Anexo 1. Estudio Hidrológico

El presente estudio corresponde a la determinación de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno a partir de los registros de los caudales de la estación más cercana al puente, que en este caso corresponde a la estación Marripón.

Además, en este caso no corresponde la aplicación de un modelamiento hidrológico de la cuenca del río Motupe debido a que sólo se tienen dos estaciones pluviométricas cercanas y con muy poca información lo cual no sería lo suficiente para determinar los caudales máximos y sus respectivos hidrogramas.

#### **Caudales máximos registrados en la estación hidrométrica “Marripón”**

Año	Q máx. (m <sup>3</sup> /s)
1962	8.0000
1963	1.2600
1964	2.5300
1965	6.0000
1966	2.3000
1967	33.8200
1968	1.5000
1969	10.0000
1970	1.9200
1971	9.4400
1972	S/D
1973	19.2000
1974	3.4300
1975	23.1800
1976	10.6900
1977	8.0600
1978	10.0000
1979	9.1400
1980	3.7000
1981	9.6800
1982	3.3600
1983	S/D
1984	12.5000
1985	5.2400
1986	4.4300
1987	7.2000
1988	4.2000

1989	5.5000
1990	2.8500
1991	1.1300
1992	10.0000
1993	S/D
1994	S/D
1995	6.4000
1996	2.0400
1997	3.2000
1998	S/D
1999	12.5000
2000	S/D
2001	22.2500
2002	37.2500
2003	4.1400
2004	1.7100
2005	5.3200
2006	7.7800
2007	4.0800

**S/D:** Sin Dato

**Fuente:** Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico - Cuencas de la Costa Norte (Informe Final) - MINAGRI

Luego se aplicaron dos modelos de generación de caudales para determinar los caudales faltantes desde el año 2008 al año 2017. Para tal fin se aplicó el programa Hidroesta 2, en la opción de “Regresión” y “Modelo autorregresivo AR(1) o Markoviano de 1° orden” y el otro modelo que también se tiene es el “AR(1) con transformación logarítmica”.

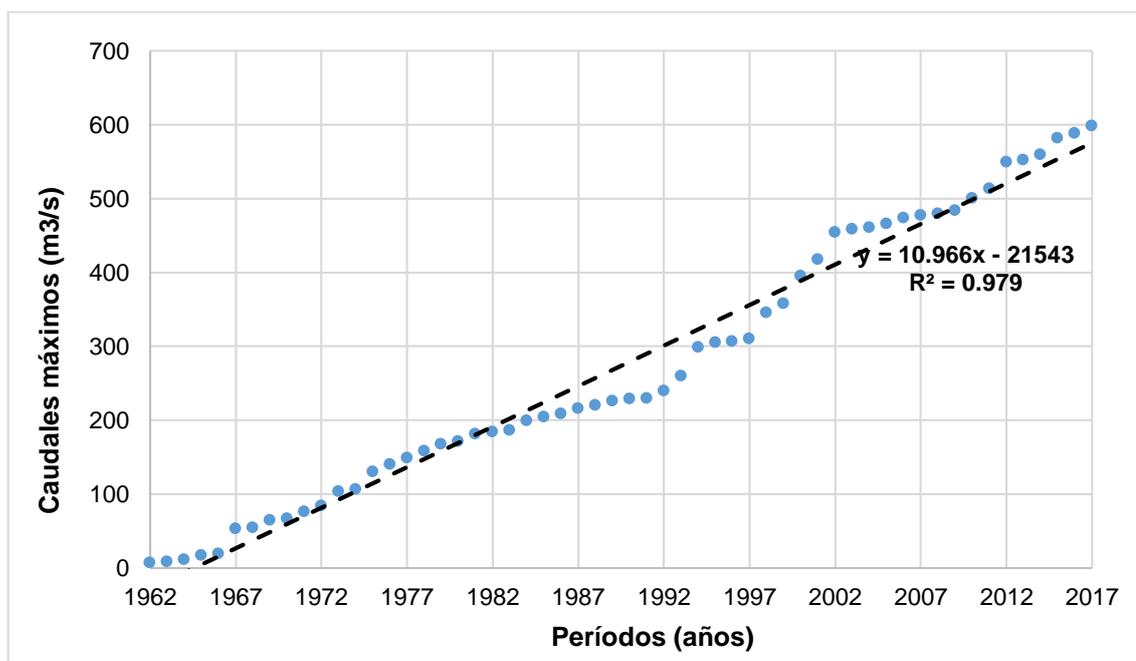
## Vista general de los modelos autorregresivos AR(1) del programa Hidroesta 2



Fuente: Programa Hidroesta 2.

Previamente a la generación de caudales con alguno de los modelos autorregresivos se hizo la completación de datos faltantes y la corrección de los registros para evaluar la buena correlación cuadrática y la tendencia del registro, obteniéndose una buena correlación  $R^2 = 0.979$ .

### Correlación de caudales máximos completados vs. caudales acumulados



Fuente: Elaboración propia.

### Resultados de los modelos autorregresivos AR(1)

AÑO	MODELO MARKOVIANO AR(1)	MODELO AUTORREGRESIVO CON TRANSF.LOGARITMICA
2008	18.7355	1.8375
2009	1.0572	4.0989
2010	11.4789	16.6802
2011	15.0556	13.0617
2012	4.6577	36.1008
2013	14.8344	3.0530
2014	6.8417	6.8108
2015	1.5239	22.1530
2016	3.7665	6.8173
2017	8.7698	10.2067

<u>Parámetros estadísticos obtenidos:</u>		
<b>Promedio:</b>	8.6721	<b>12.0820</b>
<b>Desv.Est.:</b>	6.1509	<b>10.5917</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Finalmente se escoge el modelo que más se acerca respecto al promedio y desviación estándar comparado con el registro histórico de la estación Marripón, siendo en este caso el modelo autorregresivo AR(1) con transformación logarítmica.

### Caudales máximos registrados por la estación Marrison (período 1962 – 2007) y los completados por el modelo AR(1) con transformación logarítmica (período 2008 – 2017)

Año	Q máx (m <sup>3</sup> /s)
1962	8.0000
1963	1.2600
1964	2.5300
1965	6.0000
1966	2.3000
1967	33.8200
1968	1.5000
1969	10.0000
1970	1.9200
1971	9.4400
1972	7.8710
1973	19.2000
1974	3.4300
1975	23.1800
1976	10.6900

1977	8.0600
1978	10.0000
1979	9.1400
1980	3.7000
1981	9.6800
1982	3.3600
1983	2.1460
1984	12.5000
1985	5.2400
1986	4.4300
1987	7.2000
1988	4.2000
1989	5.5000
1990	2.8500
1991	1.1300
1992	10.0000
1993	19.8090
1994	38.9365
1995	6.4000
1996	2.0400
1997	3.2000
1998	35.1040
1999	12.5000
2000	37.3000
2001	22.2500
2002	37.2500
2003	4.1400
2004	1.7100
2005	5.3200
2006	7.7800
2007	4.0800
2008	1.8375
2009	4.0989
2010	16.6802
2011	13.0617
2012	36.1008
2013	3.0530
2014	6.8108
2015	22.1530
2016	6.8173
2017	10.2067

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Después se procedió a evaluar la bondad de ajuste de los registros históricos incluyendo los completados, para tal fin se empleó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov ó K-S, determinándose que de las probabilidades empíricas empleadas la de mejor delta tabular fue la de Weibull:  $P(x) = m/(n+1)$ . El criterio de elección está en función del nivel de significancia y la probabilidad para este caso se empleó un nivel de significancia del 1% y una probabilidad del 99%.

**Tabla de valores de nivel de significancia para la prueba K-S**

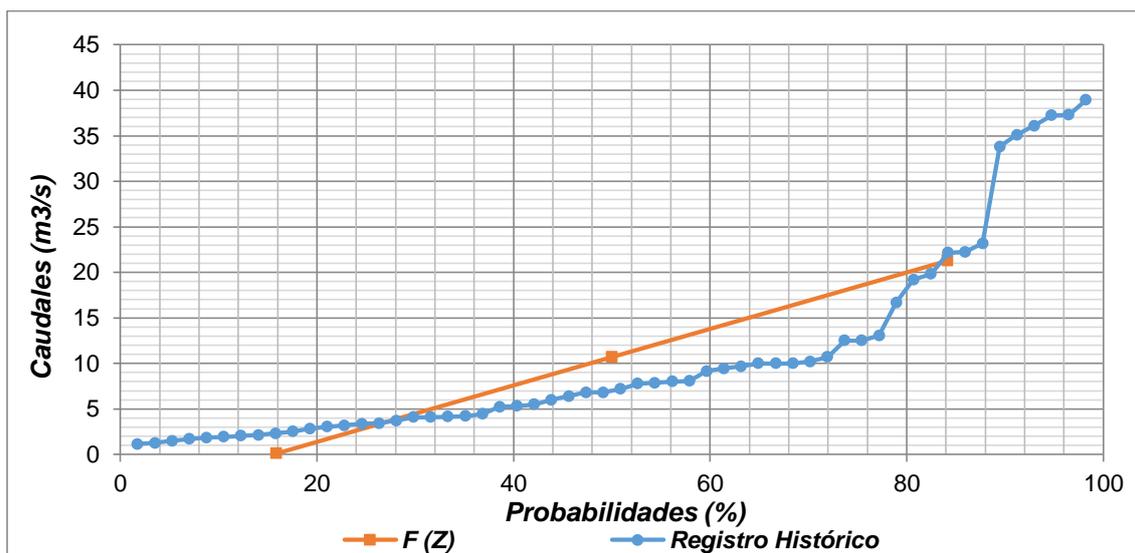
Tamaño "N"	Nivel de significación $\alpha$				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.2	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N > 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: *Elaboración propia.*

### Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov

m	Q max (m3/s)	$P1 = \frac{m}{n+1}$	$P2 = \frac{m}{n}$	$P3 = \frac{2m-1}{2n}$	$Z = \frac{X - \bar{X}}{S}$	F(z)	$\Delta 1 =  F(z) - P(x) $	$\Delta 2 =  F(z) - P(x) $	$\Delta 3 =  F(z) - P(x) $	
1	1.13	0.0175	0.0179	0.0089	-0.9048	0.1828	0.1652	0.1649	0.1739	
2	1.26	0.0351	0.0357	0.0268	-0.8925	0.1861	0.1510	0.1503	0.1593	
3	1.50	0.0526	0.0536	0.0446	-0.8698	0.1922	0.1396	0.1386	0.1476	
4	1.71	0.0702	0.0714	0.0625	-0.8500	0.1977	0.1275	0.1262	0.1352	
5	1.84	0.0877	0.0893	0.0804	-0.8379	0.2010	0.1133	0.1118	0.1207	
6	1.92	0.1053	0.1071	0.0982	-0.8301	0.2032	0.0980	0.0961	0.1050	
7	2.04	0.1228	0.1250	0.1161	-0.8187	0.2065	0.0837	0.0815	0.0904	
8	2.15	0.1404	0.1429	0.1339	-0.8087	0.2093	0.0690	0.0665	0.0754	
9	2.30	0.1579	0.1607	0.1518	-0.7941	0.2136	0.0557	0.0528	0.0618	
10	2.53	0.1754	0.1786	0.1696	-0.7724	0.2199	0.0445	0.0414	0.0503	
11	2.85	0.1930	0.1964	0.1875	-0.7421	0.2290	0.0360	0.0326	0.0415	
12	3.05	0.2105	0.2143	0.2054	-0.7229	0.2349	0.0243	0.0206	0.0295	
13	3.20	0.2281	0.2321	0.2232	-0.7090	0.2392	0.0111	0.0070	0.0159	
14	3.36	0.2456	0.2500	0.2411	-0.6939	0.2439	0.0017	0.0061	0.0028	
15	3.43	0.2632	0.2679	0.2589	-0.6872	0.2460	0.0172	0.0219	0.0130	
16	3.70	0.2807	0.2857	0.2768	-0.6617	0.2541	0.0266	0.0316	0.0227	
17	4.08	0.2982	0.3036	0.2946	-0.6258	0.2657	0.0325	0.0378	0.0289	
18	4.10	0.3158	0.3214	0.3125	-0.6240	0.2663	0.0495	0.0551	0.0462	
19	4.14	0.3333	0.3393	0.3304	-0.6201	0.2676	0.0657	0.0717	0.0628	
20	4.20	0.3509	0.3571	0.3482	-0.6144	0.2695	0.0814	0.0877	0.0787	
21	4.43	0.3684	0.3750	0.3661	-0.5926	0.2767	0.0917	0.0983	0.0894	
22	5.24	0.3860	0.3929	0.3839	-0.5160	0.3029	0.0830	0.0899	0.0810	
23	5.32	0.4035	0.4107	0.4018	-0.5085	0.3056	0.0979	0.1051	0.0962	
24	5.50	0.4211	0.4286	0.4196	-0.4914	0.3116	0.1095	0.1170	0.1081	
25	6.00	0.4386	0.4464	0.4375	-0.4441	0.3285	0.1101	0.1180	0.1090	
26	6.40	0.4561	0.4643	0.4554	-0.4063	0.3423	0.1139	0.1220	0.1131	
27	6.81	0.4737	0.4821	0.4732	-0.3674	0.3566	0.1170	0.1255	0.1166	
28	6.82	0.4912	0.5000	0.4911	-0.3668	0.3569	0.1343	0.1431	0.1342	
29	7.20	0.5088	0.5179	0.5089	-0.3306	0.3705	0.1383	0.1474	0.1385	
30	7.78	0.5263	0.5357	0.5268	-0.2757	0.3914	0.1349	0.1443	0.1354	
31	7.87	0.5439	0.5536	0.5446	-0.2671	0.3947	0.1492	0.1589	0.1500	
32	8.00	0.5614	0.5714	0.5625	-0.2549	0.3994	0.1620	0.1720	0.1631	
33	8.06	0.5789	0.5893	0.5804	-0.2493	0.4016	0.1774	0.1877	0.1788	
34	9.14	0.5965	0.6071	0.5982	-0.1471	0.4415	0.1550	0.1656	0.1567	
35	9.44	0.6140	0.6250	0.6161	-0.1187	0.4528	0.1613	0.1722	0.1633	
36	9.68	0.6316	0.6429	0.6339	-0.0960	0.4618	0.1698	0.1811	0.1722	
37	10.00	0.6491	0.6607	0.6518	-0.0657	0.4738	0.1753	0.1869	0.1780	
38	10.00	0.6667	0.6786	0.6696	-0.0657	0.4738	0.1929	0.2048	0.1959	
39	10.00	0.6842	0.6964	0.6875	-0.0657	0.4738	0.2104	0.2226	0.2137	
40	10.21	0.7018	0.7143	0.7054	-0.0462	0.4816	0.2202	0.2327	0.2238	
41	10.69	0.7193	0.7321	0.7232	-0.0005	0.4998	0.2195	0.2323	0.2234	
42	12.50	0.7368	0.7500	0.7411	0.1708	0.5678	0.1691	0.1822	0.1733	
43	12.50	0.7544	0.7679	0.7589	0.1708	0.5678	0.1866	0.2001	0.1911	
44	13.06	0.7719	0.7857	0.7768	0.2239	0.5886	0.1834	0.1971	0.1882	
45	16.68	0.7895	0.8036	0.7946	0.5662	0.7144	0.0751	0.0892	0.0803	
46	19.20	0.8070	0.8214	0.8125	0.8046	0.7895	0.0176	0.0320	0.0230	
47	19.81	0.8246	0.8393	0.8304	0.8622	0.8057	0.0189	0.0336	0.0247	
48	22.15	0.8421	0.8571	0.8482	1.0839	0.8608	0.0187	0.0037	0.0126	
49	22.25	0.8596	0.8750	0.8661	1.0931	0.8628	0.0032	0.0122	0.0033	
50	23.18	0.8772	0.8929	0.8839	1.1811	0.8812	0.0040	0.0116	0.0027	
51	33.82	0.8947	0.9107	0.9018	2.1876	0.9856	0.0909	0.0749	0.0839	
52	35.10	0.9123	0.9286	0.9196	2.3090	0.9895	0.0772	0.0610	0.0699	
53	36.10	0.9298	0.9464	0.9375	2.4033	0.9919	0.0621	0.0454	0.0544	
54	37.25	0.9474	0.9643	0.9554	2.5120	0.9940	0.0466	0.0297	0.0386	
55	37.30	0.9649	0.9821	0.9732	2.5168	0.9941	0.0292	0.0119	0.0209	
56	38.94	0.9825	1.0000	0.9911	2.6716	0.9962	0.0138	0.0038	0.0052	
<b>N° datos :</b>	56.00						$\Delta$ tabular =	0.2202	0.2327	0.2238

## Resultados del ajuste gráfico de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorv - Smirnov



Fuente: Elaboración propia.

$\Delta_{\max}$ :	0.2202
Nº datos :	56.00
Nivel de signif. "n":	0.010

$\Delta_{\max} < \Delta_{\text{crítico}}$   
 $0.220 < 0.228$

**EL AJUSTE ES CORRECTO**

Entonces como se indica anteriormente cumple con el ajuste tanto gráfico como teórico. Ahora para la obtención de los caudales máximos se aplicó también el programa Hidroesta 2, para este caso en la opción "Distribuciones" que contiene las ocho (8) distribuciones estadísticas (teóricas) recomendadas por el "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de nuestro país.

## Vista general de las distribuciones estadísticas (teóricas) del programa Hidroesta 2



Fuente: Programa Hidroesta 2.

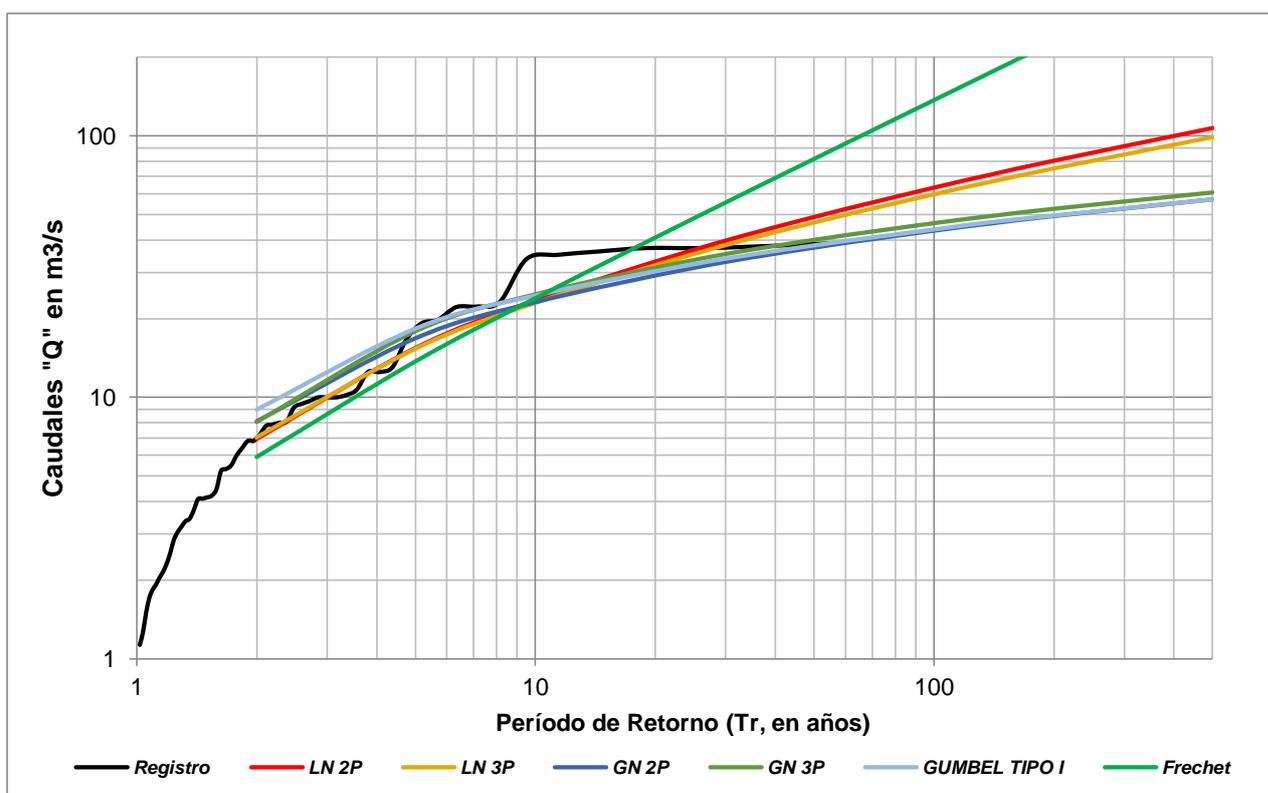
### Resultados de las distribuciones estadísticas indicando el método de mejor ajuste

Tr (años)	DISTRIBUCIONES DE MEJOR AJUSTE POR LOS DIFERENTES MÉTODOS							MÉTODO ESCOGIDO PARA EL CAUDAL DE DISEÑO
	CAUDALES MÁXIMOS "Q max" EN m3/s							
	NORMAL	LOG NORMAL DE 2 PARÁMETROS (LN 2P)	LOG NORMAL DE 3 PARÁMETROS (LN 3P)	GAMMA 2 PARÁMETROS (GN 2P)	GAMMA 3 PARÁMETROS (GN 3P)	GUMBEL TIPO I	LOGARITMO GUMBEL (FRECHET)	LOG NORMAL DE 2 PARÁMETROS (LN 2P)
2	10.69	6.93	7.03	8.10	8.06	8.96	5.93	6.93
5	19.59	15.43	15.34	16.81	17.88	18.30	13.74	15.43
10	24.24	23.46	22.99	23.10	24.75	24.49	23.98	23.46
25	29.21	36.66	35.35	31.25	33.49	32.30	48.44	36.66
50	32.41	48.92	46.64	37.32	39.94	38.10	81.61	48.92
100	35.29	63.40	59.83	43.33	46.28	43.85	136.98	63.40
140	36.60	71.31	66.98	46.24	49.32	46.84	176.00	71.31
200	37.93	80.38	75.13	49.29	52.52	49.59	229.48	80.38
500	41.12	107.15	98.99	57.05	60.62	57.15	453.30	107.15

Fuente: *Elaboración propia.*

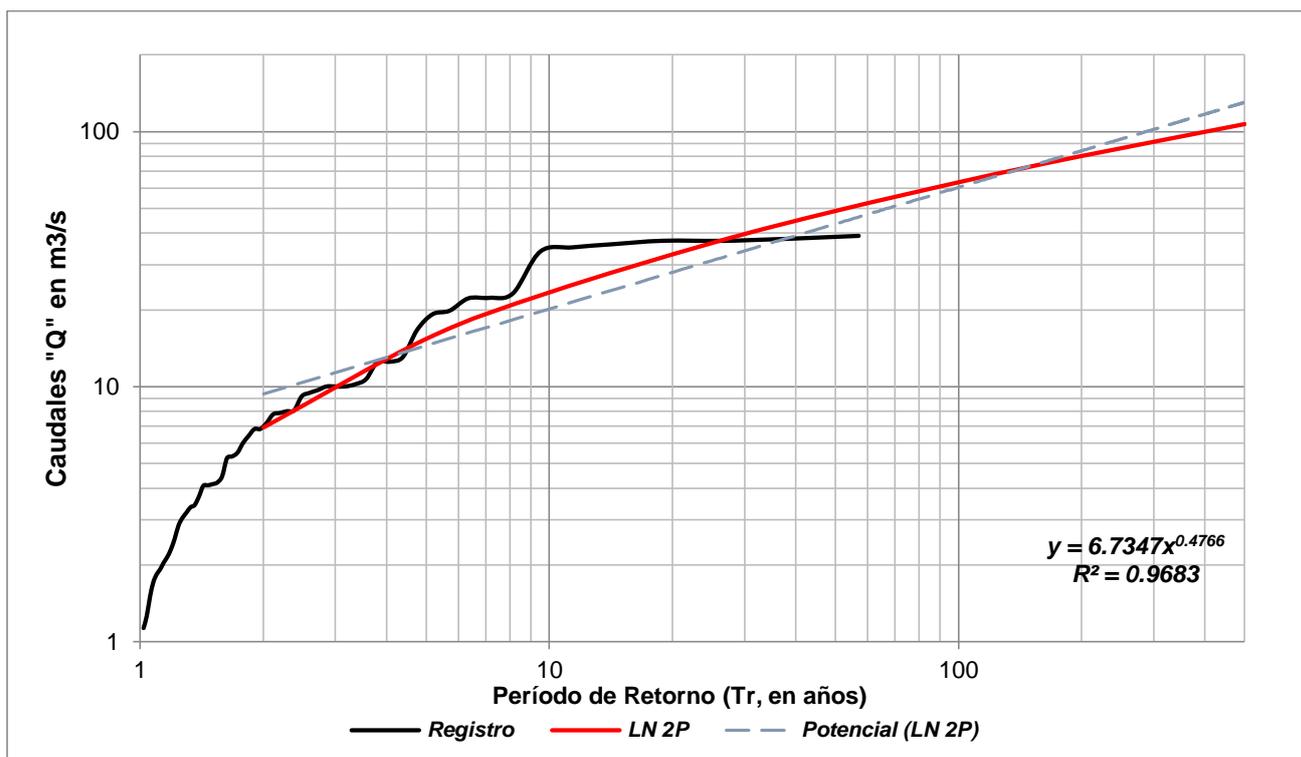
Luego también podemos hacer una representación gráfica de cada método con respecto al registro histórico para determinar cuál método es el de mejor ajuste.

### Gráfica de las diferentes distribuciones estadísticas versus los registros históricos



Fuente: *Elaboración propia.*

**Distribución de mejor ajuste escogida respecto al registro: Logaritmo Normal 2 parámetros**



Fuente: Elaboración propia.

Como se indica en las gráficas anteriores el método de distribución estadístico de mejor ajuste con respecto a los registros históricos, incluyendo los completados con el modelo AR(1) de transformación logarítmica, corresponde a Logaritmo Normal de 2 parámetros.

**Caudales máximos obtenidos para diferentes períodos de retorno del método de LN 2P**

Tr (años)	LOG NORMAL DE 2 PARÁMETROS (LN 2P)
2	6.93
5	15.43
10	23.46
25	36.66
50	48.92
100	63.40
140	71.31
200	80.38
500	107.15

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente según lo recomendado por el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y el “Manual de Puentes” también del MTC, se indican los caudales de diseño.

El período de retorno “Tr” calculado para una vida útil de n = 40 años y riesgo de falla de R = 25%, (es decir 0.25) para el puente Motupe es de 139.53 años por lo tanto se escoge Tr = 140 años.

**Gráfica recomendada por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC**

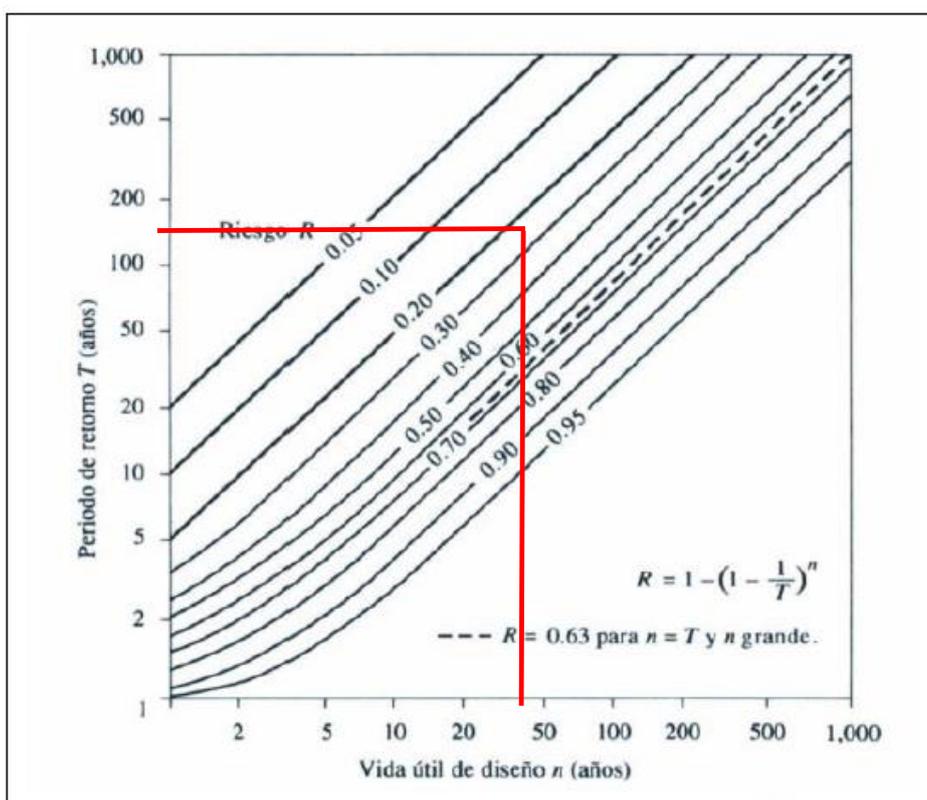


Figura N° 01. Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil (Fuente: Hidrología Aplicada (Ven te Chow)).

**Fuente:** Figura N° 01 del libro de Hidrología Aplicada de Ven Te Chow incluida en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC.

**Caudales de diseño para el puente Motupe incluyendo para socavación**

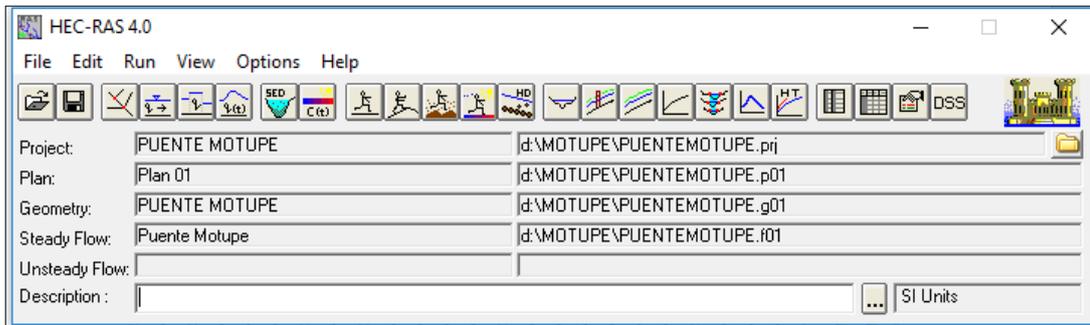
TIPO DE OBRA	Tr (Años)	Q max (m3/s)
PUENTE DE GRAN IMPORTANCIA	140.00	71.31
PARA SOCAVACIÓN	500.00	107.15

**Fuente:** Elaboración propia.

## ANEXO 2. Modelamiento Hidráulico con HEC RAS – Puente Motupe

## Anexo 2. Modelamiento Hidráulico con HEC RAS – Puente Motupe

La simulación hidráulica realizada en el Software Hec – Ras, comprende el tramo estudiado aguas arriba y aguas abajo del puente en mención, siendo los extremos los puntos de extracción de muestras por arrastre y suspensión.



*Creación del proyecto de simulación*

### 1. Geometría del lugar

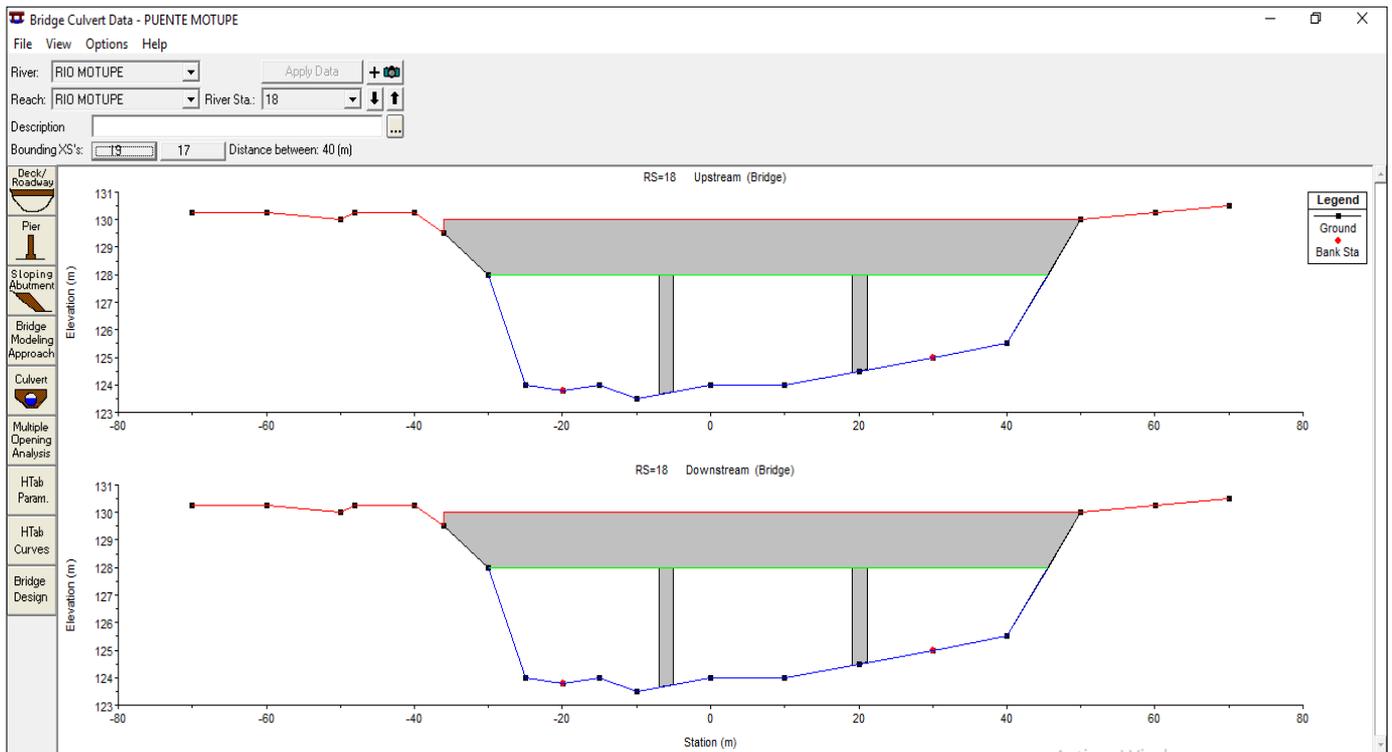
La geometría insertada por el comando “geometric data”, consiste en realizar el trazo del río, el cual indicará el sentido del flujo, para posteriormente insertar las secciones transversales “cross section” cada 20 metros.

*Vista en planta de la topografía – Puente Motupe*



Las características del puente y sus dimensiones serán ingresadas en el programa por medio del comando “bridges and culverts”, teniendo las distancias y cotas reales para mayor precisión.

Las medidas a tener en cuenta fueron el espesor de los pilares, longitud del puente, ancho del tablero y las cotas de la parte superior e inferior de la super estructura del puente.



*Vista en elevación del puente Motupe*

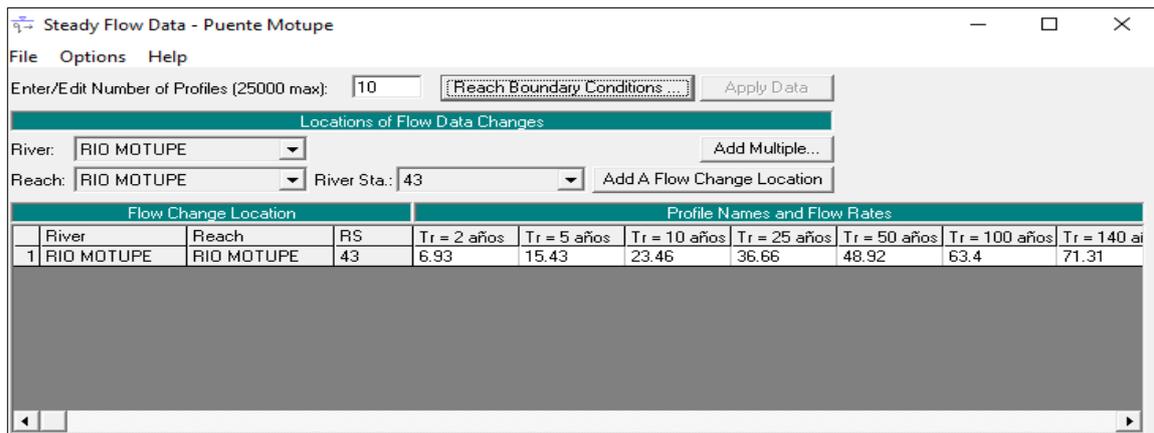
Longitud del puente	72.80 m
Ancho del talero	9.00 m
Espesor del pilar	2.00 m
Forma del pilar	Rectangular
Espesor de estribo	Variable

## 2. Caudales de diseño

Con las secciones insertadas, se procedió a ingresar los diferentes caudales para los diferentes períodos de retorno calculados por medio del análisis hidrológico del río.

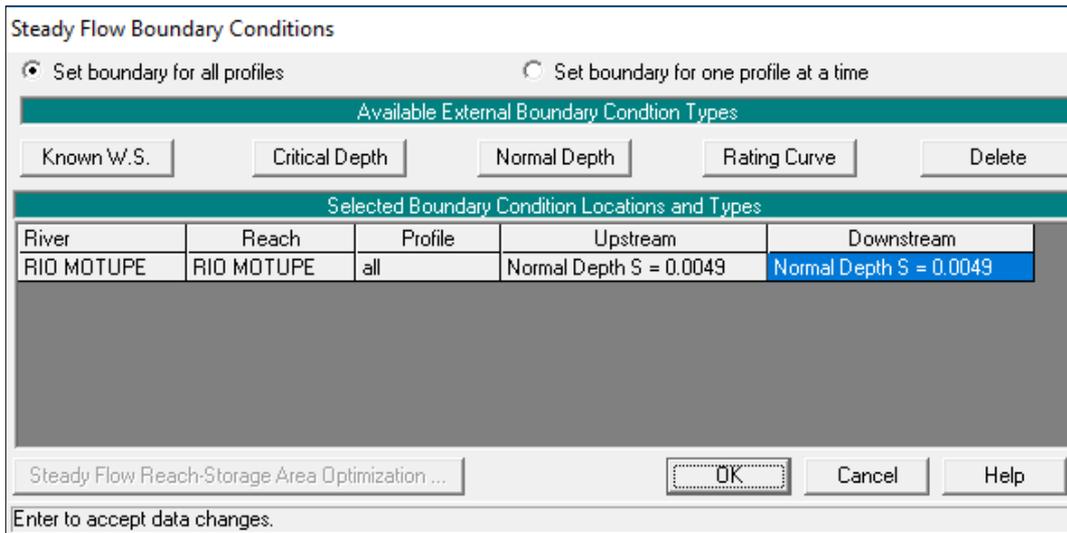
Por medio del comando “Steady Flow data” se ingresó los siguientes caudales:

Tr (años)	Q máx (m3/s)
	Método de distribución LN 2P
2	6.93
5	15.43
10	23.46
25	36.66
50	48.92
100	63.40
140	71.31
200	80.38
500	107.15

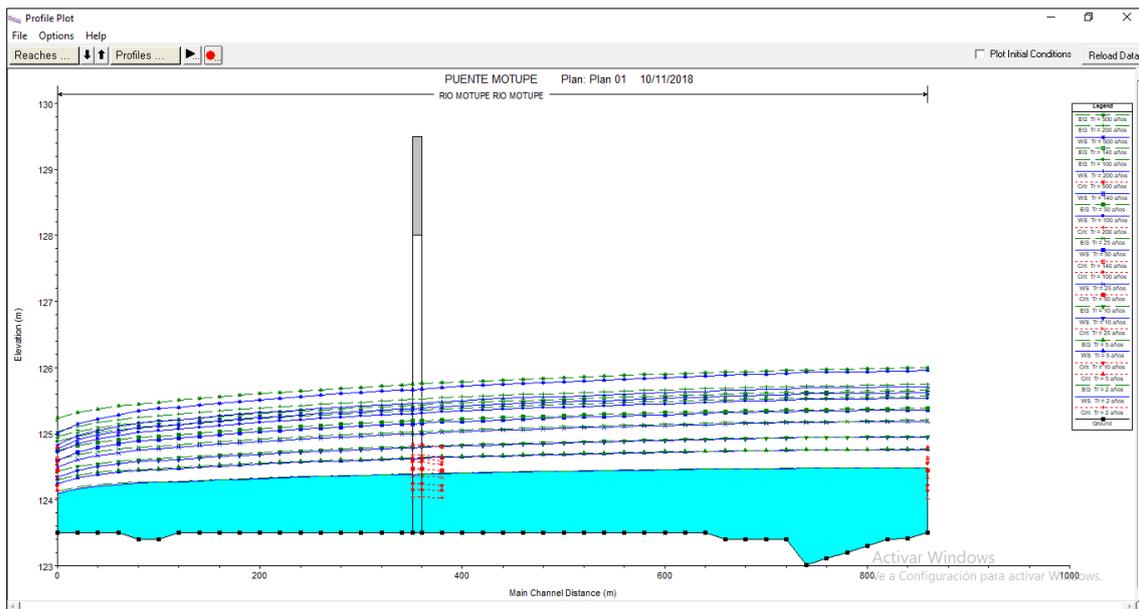


*Caudales para diferentes períodos de retorno*

La pendiente existente en el lugar es de 4.49 ‰



Los perfiles de flujo se aprecian por medio del comando “view profiles”, mostrando las elevaciones del flujo para los diferentes caudales, plasmando la ubicación del puente.



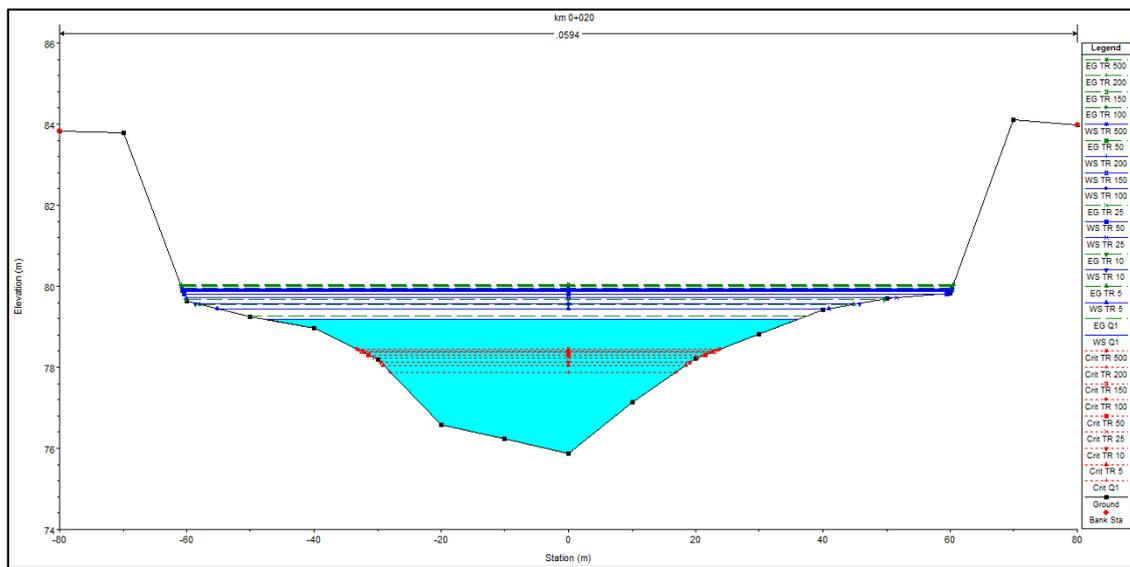
*Perfiles del río Motupe para todos los períodos de retorno*

### 3. Secciones transversales

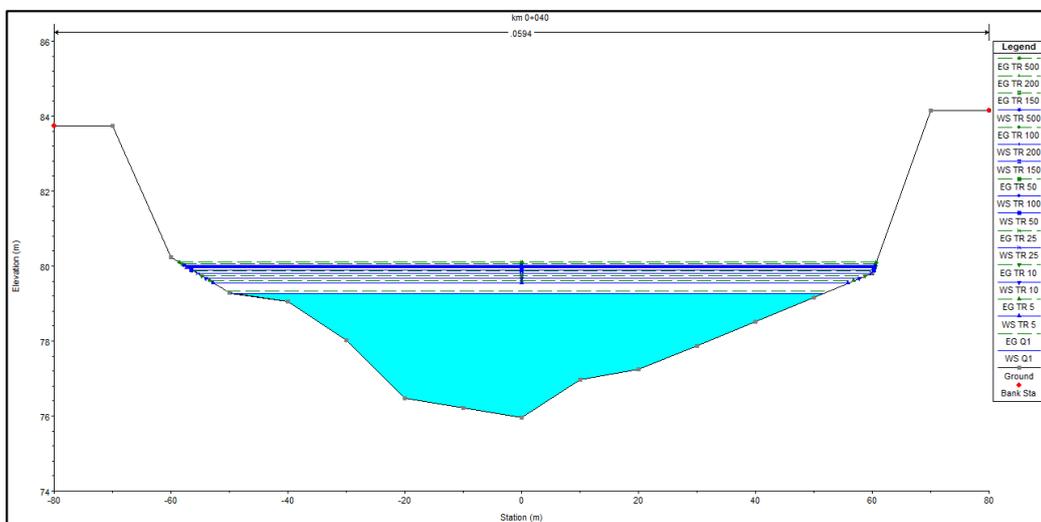
Las secciones transversales muestran en cada una de ellas las crecidas de caudal para los diferentes periodos de retorno ubicando así las zonas que se encuentran propensas a sufrir desbordes.

En las siguientes imágenes se observan las secciones transversales del tramo de estudio en cada progresiva.

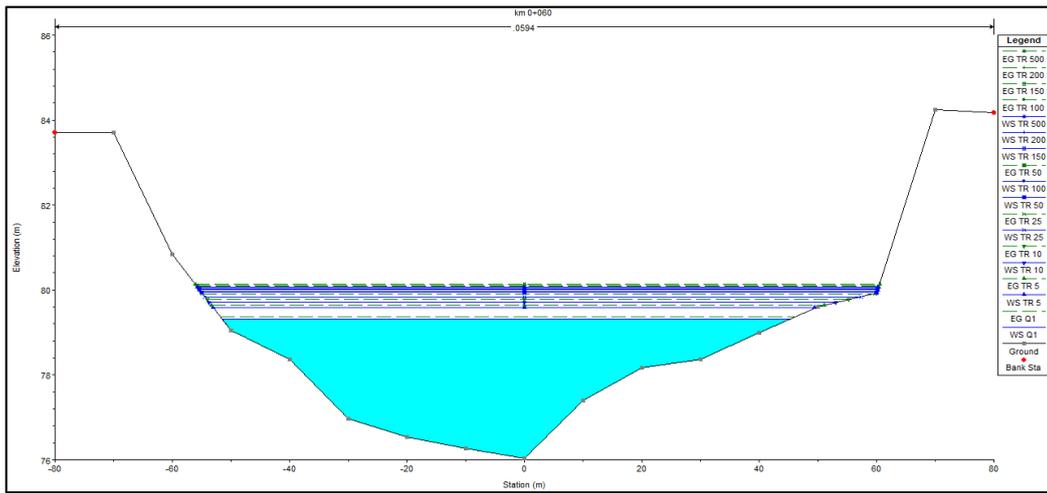
*Sección transversal Km 0+020*



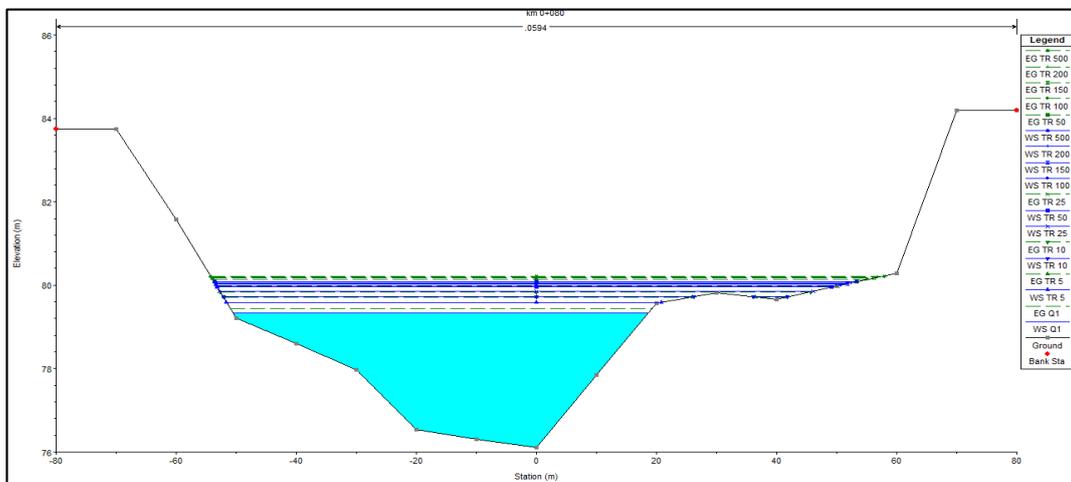
*Sección transversal Km 0+040*

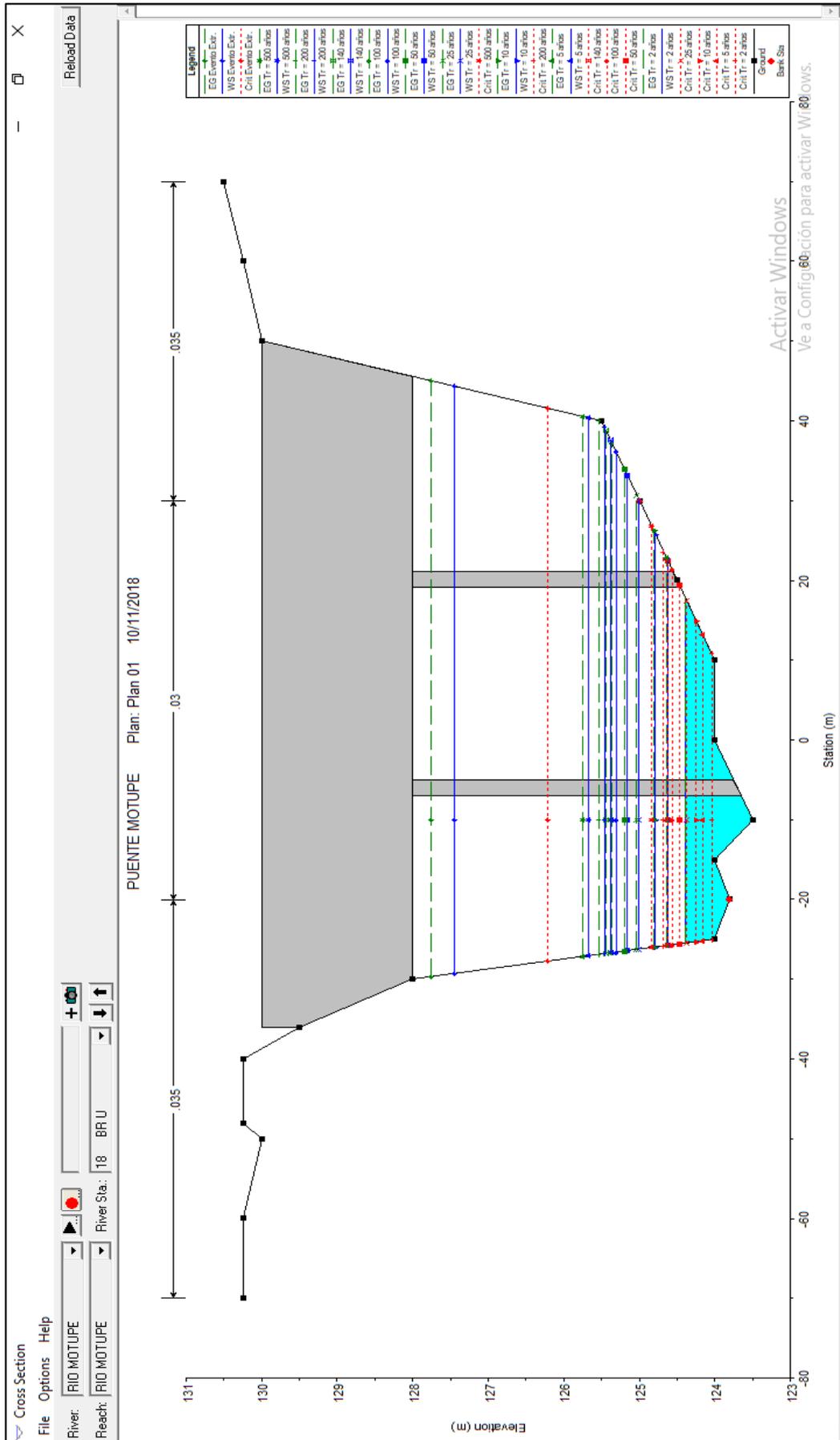


### Sección transversal Km 0+060

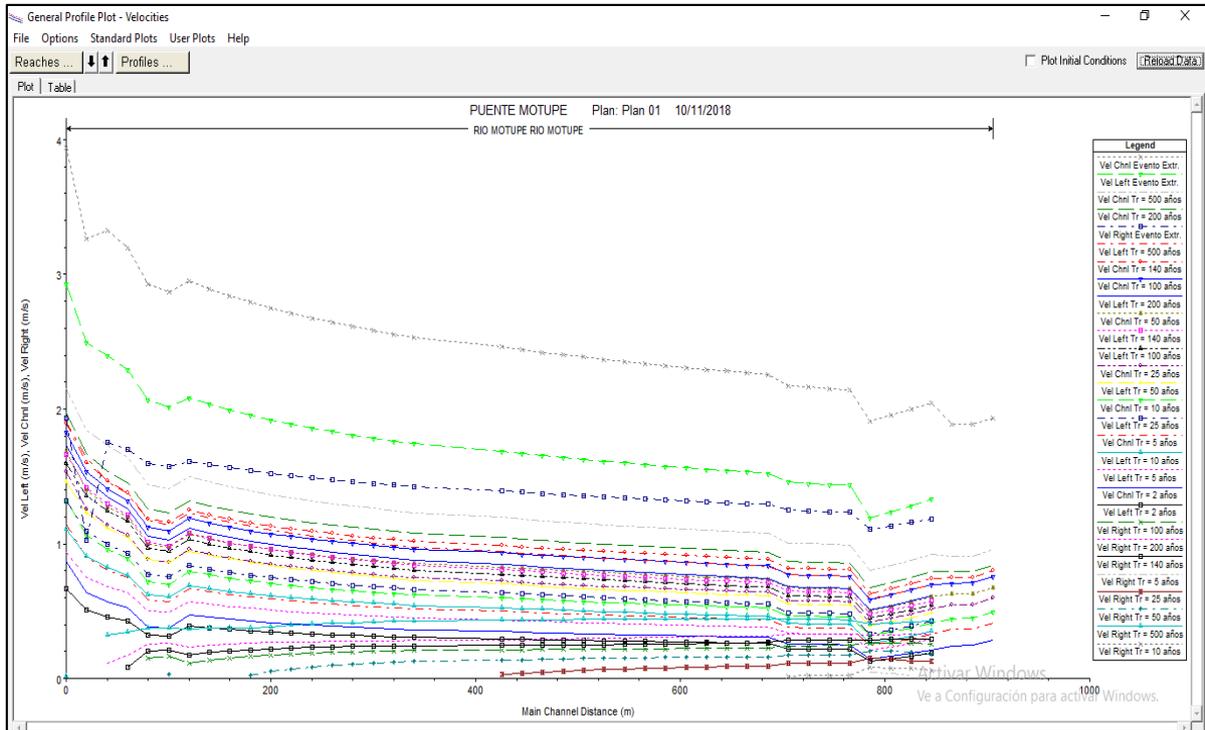


### Sección transversal Km 0+080

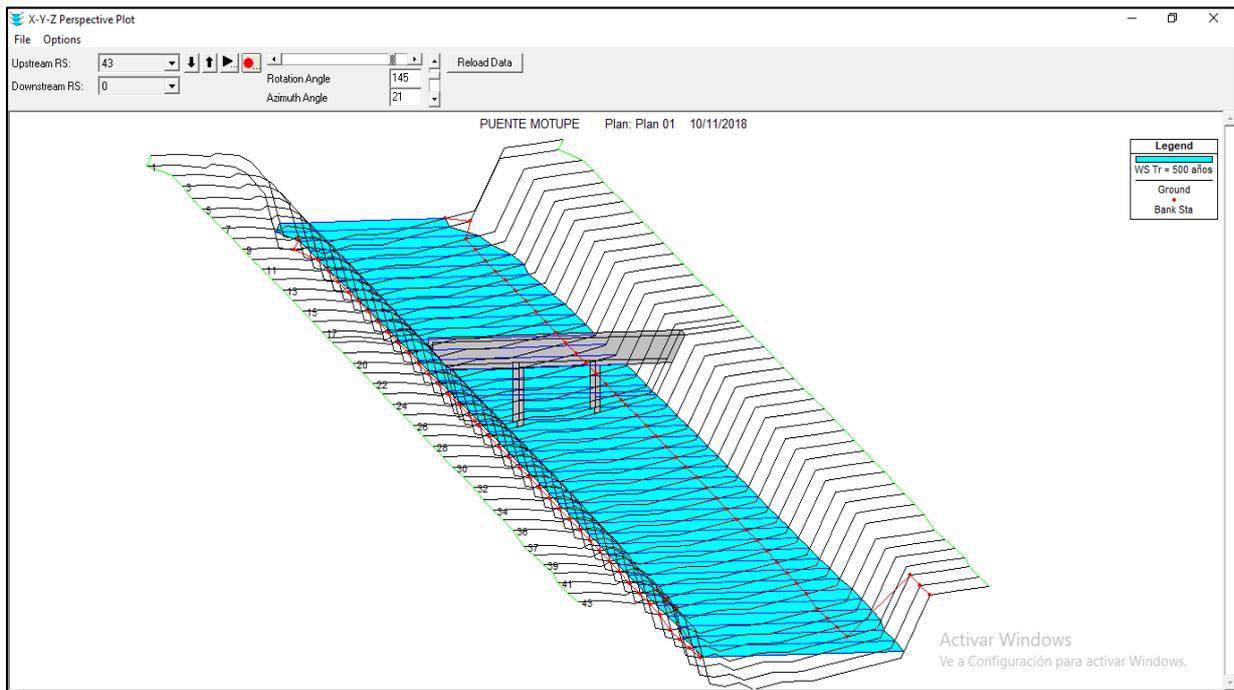




El perfil de velocidades obtenido por medio del comando “view general profile” nos grafica las velocidades en m/s para los diferentes periodos de retorno como se observa en la siguiente imagen.



*Velocidades para diferentes periodos de retorno – puente Motupe*



*Perfil de flujo para un periodo de retorno de 500 años – puente Motupe*

En la siguiente tabla se muestra en resumen los datos obtenidos del programa para los diferentes periodos de retorno (Tr).

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan:												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
RIO MOTUPE	43	Tr = 2 años	6.93	123.50	124.48	124.02	124.49	0.000121	0.29	24.08	45.23	0.13
RIO MOTUPE	43	Tr = 5 años	15.43	123.50	124.76	124.14	124.77	0.000162	0.41	37.49	51.15	0.15
RIO MOTUPE	43	Tr = 10 años	23.46	123.50	124.95	124.22	124.96	0.000187	0.49	47.56	55.18	0.17
RIO MOTUPE	43	Tr = 25 años	36.66	123.50	125.19	124.34	125.21	0.000220	0.60	61.34	60.25	0.19
RIO MOTUPE	43	Tr = 50 años	48.92	123.50	125.36	124.44	125.39	0.000247	0.68	72.19	63.96	0.20
RIO MOTUPE	43	Tr = 100 años	63.40	123.50	125.54	124.54	125.57	0.000271	0.76	83.62	67.00	0.22
RIO MOTUPE	43	Tr = 140 años	71.31	123.50	125.62	124.59	125.65	0.000276	0.80	89.36	67.30	0.22
RIO MOTUPE	43	Tr = 200 años	80.38	123.50	125.71	124.64	125.75	0.000283	0.84	95.53	67.62	0.23
RIO MOTUPE	43	Tr = 500 años	107.15	123.50	125.95	124.79	126.00	0.000302	0.96	111.91	68.45	0.24
RIO MOTUPE	43	Evento Extr.	500.00	123.50	127.99	126.07	128.18	0.000468	1.93	258.69	75.53	0.33
RIO MOTUPE	42	Tr = 2 años	6.93	123.41	124.48		124.48	0.000076	0.25	28.18	47.13	0.10
RIO MOTUPE	42	Tr = 5 años	15.43	123.41	124.76		124.77	0.000115	0.37	42.10	53.03	0.13
RIO MOTUPE	42	Tr = 10 años	23.46	123.41	124.95		124.96	0.000141	0.45	52.52	57.05	0.15
RIO MOTUPE	42	Tr = 25 años	36.66	123.41	125.19		125.20	0.000173	0.55	66.73	62.12	0.17
RIO MOTUPE	42	Tr = 50 años	48.92	123.41	125.36		125.38	0.000199	0.63	77.89	65.83	0.18
RIO MOTUPE	42	Tr = 100 años	63.40	123.41	125.53		125.56	0.000217	0.71	89.51	67.31	0.20
RIO MOTUPE	42	Tr = 140 años	71.31	123.41	125.62		125.65	0.000225	0.75	95.28	67.60	0.20
RIO MOTUPE	42	Tr = 200 años	80.38	123.41	125.71		125.74	0.000233	0.79	101.48	67.92	0.21
RIO MOTUPE	42	Tr = 500 años	107.15	123.41	125.95		125.99	0.000256	0.91	117.93	68.76	0.22
RIO MOTUPE	42	Evento Extr.	500.00	123.41	127.99		128.17	0.000435	1.88	265.32	76.06	0.32
RIO MOTUPE	41	Tr = 2 años	6.93	123.40	124.48		124.48	0.000105	0.24	28.48	47.26	0.10
RIO MOTUPE	41	Tr = 5 años	15.43	123.40	124.76		124.76	0.000163	0.36	42.38	53.15	0.13
RIO MOTUPE	41	Tr = 10 años	23.46	123.40	124.94		124.95	0.000200	0.44	52.79	57.16	0.15
RIO MOTUPE	41	Tr = 25 años	36.66	123.40	125.18		125.20	0.000247	0.55	66.97	62.21	0.17
RIO MOTUPE	41	Tr = 50 años	48.92	123.40	125.36		125.38	0.000285	0.63	78.11	65.90	0.18
RIO MOTUPE	41	Tr = 100 años	63.40	123.40	125.53		125.55	0.000311	0.71	89.71	67.32	0.20
RIO MOTUPE	41	Tr = 140 años	71.31	123.40	125.61		125.64	0.000322	0.75	95.46	67.61	0.20
RIO MOTUPE	41	Tr = 200 años	80.38	123.40	125.71		125.74	0.000334	0.79	101.65	67.93	0.21
RIO MOTUPE	41	Tr = 500 años	107.15	123.40	125.95		125.99	0.000367	0.91	118.06	68.76	0.22
RIO MOTUPE	41	Evento Extr.	500.00	123.40	127.98		128.16	0.000627	1.89	265.11	76.04	0.32
RIO MOTUPE	40	Tr = 2 años	6.93	123.30	124.48		124.48	0.000070	0.21	33.16	49.32	0.08
RIO MOTUPE	40	Tr = 5 años	15.43	123.30	124.75		124.76	0.000121	0.33	47.59	55.19	0.11
RIO MOTUPE	40	Tr = 10 años	23.46	123.30	124.94		124.95	0.000147	0.41	58.36	59.19	0.13

**ANEXO 3. ENTREVISTA REALIZADA  
AL INGENIERO ESPECIALISTA EN  
INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**ENTREVISTA AL INGENIERO ESPECIALISTA EN LA RAMA DE INGENIERIA  
HIDRAULICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN - EL INGENIERO:  
GUILLERMO GUSTAVO ARRIOLA CARRASCO**

**1. ¿Qué opina del tema de investigación: ESTUDIO COMPARATIVO DEL  
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN FONDO EN LAS INMEDIACIONES DEL  
PUENTE MOTUPE?**

Es un buen tema de investigación porque no existe mucha información sobre el tema de sedimentación; donde el presente estudio nos permite conocer sobre el origen, propiedades, características, transporte, tipos y sus distintas formas de estudiar a los sedimentos que se originan en una cuenca.

**2. ¿Por qué cree usted que es importante el estudio comparativo de  
transporte de sedimentos?**

El estudio de transporte de sedimentos es importante porque nos sirve para saber la cantidad de sedimentos transportados que se generan ya sea de forma natural o artificial que se producen en una cuenca tomando como referencia las inmediaciones del puente Motupe.

**3. ¿En que nos puede ayudar la presente investigación sobre sedimentación  
en un tiempo futuro?**

La presente investigación en un futuro nos ayudara a tener en cuenta los máximos caudales y con ellos la cantidad de sedimentación que va ocurrir en sus máximas avenidas para tener en cuenta la sedimentación y así poder evitar daños a las estructuras aledañas a la presente cuenca.

**4. ¿Cuáles cree que serían los problemas que pueden ocurrir si no se llevara  
un estudio adecuado sobre sedimentación?**

Entre los problemas tenemos el daño que pueden causar a las defensas ribereñas, estructuras aledañas, casas, agricultura y ganadería que estén cerca de la cuenca en estudio.

**Anexo 4.** Ensayos de Laboratorio

**Anexo 5.** Ecuaciones Empíricas para el Cálculo del Sedimento en el Puente Motupe

**Anexo 6.** Planos del Levantamiento Topográfico del Área de Estudio