

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO EN EL RÍO HUALLAGA EN TRAMOS DE SAN RAFAEL Y AMBO”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA HIDRÁULICA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

CHAUPIS ADRIANO, Clinton

ASESOR:

C.M.Sc. PAUCAR Y MONTENEGRO, Clifton

HUÁNUCO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A nuestro Señor que, por darnos un día más de vida y la fortaleza para poder continuar a pesar de los muchos vaivenes de la vida, que nos ponen en situaciones adversas pero que con fe se pueden realizar y concluir las metas que uno se propone.

A mi madre, Eleuteria Adriano Santos, por su apoyo incondicional, por enseñarme que la vida tiene todo tipo de momentos entre alegres y tristes, pero que uno debe sobreponerse a ello con todas las fuerzas y no rendirse.

A mi padre, Joaquín Chaupis Justo, que día a día ha luchado por el bienestar de nosotros sus hijos, y que me ha enseñado que de los errores que uno comete se llega a aprender más de lo que uno imagina y que el límite siempre lo pone uno, y al igual que lo ha puesto lo puede deshacer y vivir en libertad.

A mis hermanos, Joaquín y Milagros, por su apoyo constante en toda mi vida, por enseñarme a valorar las cosas que nos da la vida, y porque sin ellos muchas de las memorias de mi vida no estarían llenos de gratos e inolvidables recuerdos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Hermilio Valdizán en la cual forme mis estudios, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura que me ayudo a obtener conocimientos muy importantes para mi desarrollo profesional.

Al Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTECH) que me permitió participar en los ensayos realizados para la cuenca del río Huallaga, que me enseñó que hay un mundo más amplio referidos a los Recursos Hídricos e Hidráulica de lo que uno imagina conocer y por los datos brindados para su uso en esta investigación, entre los que están el PhD. Patrick Vanail (director del CITA), Ing. Leo Guerrero, Hernán Chicchon y Kimberly Blas.

A la Fundación Gordon y Betty Moore que financió el proyecto denominado “Scientific Assessment of River Form and Flow: Baseline Information for Infrastructure Guidelines in the Peruvian Amazon” (Estudio científico de la dinámica fluvial amazónica: información de línea base para el desarrollo de infraestructura en la Amazonía peruana) del cual estuvo a cargo el CITA – UTECH del cual se obtuvo los datos para la investigación de la tesis realizada, y agradecerle también por el compromiso que tienen de realizar estudios científicos para la conservación del medio ambiente.

Al PhD. Kensuke Naito que es la base fundamental de que esta investigación sea realizada, por su orientación y constante enseñanza en los recursos hídricos. También por el valiosísimo tiempo brindado aun con la enorme distancia de por medio y los cambios de horario, y la paciencia que ha tenido. Sin lugar a duda una persona que admirar e imitar.

Al PhD. Horacio Toniolo por las enseñanzas durante la campaña realizada por el CITA sus ideas y preguntas avivaron el fuego por aprender más de los Recursos Hídrico,

y que es en la observación donde se hallan los problemas más interesantes, así como su posible solución, para ello uno debe estar atento y presto a dejar la imaginación más en libertad en conjunto con los conocimientos base que uno adquiere en la universidad.

Al C.M.Sc. Clifton Paucar y Montenegro por la chispa que me inspiro en adentrarme al mundo de los recursos hídricos en sus clases de Hidrología, Abastecimiento y Obras Hidráulicas, que fueron el inicio de esta aventura en esta área de investigación. También por brindarme su asesoramiento en este trabajo de investigación desde un inicio hasta el fin.

RESUMEN

Dentro de los estudios de hidráulica fluvial el estudio de transporte de sedimentos de fondo se ha vuelto muy importante por los problemas que pueden presentarse al no estimarse de manera correcta el factor de incidencia que tiene la subestimación de la tasa del volumen de sedimentos totales anuales conformados por los de fondo, saltación y flotantes, el cual ocasiona la erosión del cauce del río, colmatación de estructuras de toma, obsolescencia temprana de estructuras hidráulicas en los proyectos emplazados en aguas abajo de los ríos, puesto que rompen el equilibrio del natural. En este estudio se buscó cuantificar los sedimentos de fondo que son transportados en el Rio Huallaga, en los tramos de San Rafael y Ambo.

En primer lugar, se ha obtenido el hidrograma de caudales para los tramos evaluados de San Rafael y Ambo, en segundo lugar, se analizó la distribución granulométrica mediante BASEGRAIN de las fotografías tomadas de las excavaciones del lecho del río, en tercer lugar, se determinó sus porcentajes de grava, arena y limo, y en cuarto lugar se procedió a procesar los datos del levantamiento topográfico de las trampas de fondo, teniendo así su perfil longitudinal y volumen. Con estos datos obtenidos se realizó el análisis y cálculo de los sedimentos transportados mediante un modelamiento numérico en una dimensión, usando un código de programación en Python en base a las ecuaciones transporte de Parker (2004).

Los resultados obtenidos para los años 2019 y 2020 nos muestran: el caudal promedio oscila entre los $7.62 \text{ m}^3/\text{s}$ y $13.98 \text{ m}^3/\text{s}$; el diámetro nominal D_{50} del lecho del río está oscilando entre 56.20 mm – 120.89 mm , la clasificación de los sedimentos de fondo es de grava muy gruesa teniendo: grava gruesa con un porcentaje promedio de 89.02 %, arena con un porcentaje promedio de 10.76 % y el limo con un porcentaje promedio de 0.11%. De igual manera se determinó que la cantidad de sedimentos de

fondo transportados en el río Huallaga llena las trampas de carga de lecho realizadas en los tramos de San Rafael y Ambo, y que la tasa de volumen anual obtenido con los $D50$ analizados son los siguientes: $58.67 \text{ m}^3/\text{año}$ para un $D50_{prom}$, $1.02 \text{ m}^3/\text{año}$ para un $D50_{máx}$ y $871.76 \text{ m}^3/\text{año}$ para un $D50_{mín}$. Esta información obtenida constituye un soporte de información de los caudales, distribución granulométrica y clasificación de los sedimentos de fondo que son transportados en río Huallaga en los tramos evaluados. Así mismo, la tasa de volumen anual del transporte de sedimentos de fondo nos demuestra que erosiona el cauce del río y que las estructuras de toma pueden colmatarse dejando de funcionar a poco tiempo de su emplazamiento, esto en base a la capacidad que tiene el río en el llenado de las trampas realizadas en un periodo de tiempo de un año de observación, considerándose el promedio de las mediciones.

Palabras Claves: *transporte de sedimentos, hidrograma de caudales, granulometría, clasificación, modelamiento, Río Huallaga*

SUMMARY

Within the studies of river hydraulics, the study of bottom sediment transport has become very important due to the problems that can arise when the incidence factor is not correctly estimated due to the underestimation of the annual total sediment volume rate made up of bottom, saltation and floating sediments, which causes erosion of the riverbed, clogging of intake structures, early obsolescence of hydraulic structures in projects located downstream of rivers, since they break the balance of the natural one. In this study we sought to quantify the bottom sediments that are transported in the Huallaga River, in the San Rafael and Ambo sections.

First, the flow hydrograph was obtained for the evaluated sections of San Rafael and Ambo; second, the granulometric distribution was analyzed by BASEGRAIN of the photographs taken of the excavations of the riverbed; third, the percentages of gravel, sand and silt were determined; and fourth, the data from the topographic survey of the bottom traps were processed to obtain their longitudinal profile and volume. With these data obtained, the analysis and calculation of the sediment transported was carried out by means of numerical modeling in one dimension, using a Python programming code based on the transport equations of Parker (2004).

The results obtained for the years 2019 and 2020 show: the average flow oscillates between $7.62 \text{ m}^3/\text{s}$ y $13.98 \text{ m}^3/\text{s}$; the nominal diameter D_{50} of the riverbed is oscillating between 56.20 mm – 120.89 mm, the classification of the bottom sediments is very coarse gravel having: coarse gravel with an average percentage of 89.02 %, sand with an average percentage of 10.76 % and silt with an average percentage of 0.11%. Similarly, it was determined that the amount of bottom sediments transported in the Huallaga River fills the bed load traps made in the San Rafael and Ambo sections, and that the annual volume rate obtained with the analyzed D_{50} are as follows: $58.67 \text{ m}^3/\text{yr}$

for a $D50_{average}$, $1.02 \text{ m}^3/\text{yr}$ for a $D50_{m\acute{a}x}$ y $871.76 \text{ m}^3/\text{yr}$ for a $D50_{m\acute{i}n}$. This information obtained constitutes an information support of the flow rates, granulometric distribution and classification of the bottom sediments that are transported in the Huallaga River in the evaluated sections. Likewise, the annual volume rate of bottom sediment transport shows that it erodes the riverbed and that the intake structures can become clogged and cease to function shortly after their placement, based on the river's capacity to fill the traps during a period of one year of observation, considering the average of the measurements.

Key words: sediment transport, flow hydrograph, granulometry, classification, modeling, Huallaga River.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	IV
SUMMARY.....	VI
ÍNDICE.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Fundamentación del problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Formulación de objetivos generales y específicos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación	3
1.5. Limitaciones	5
1.6. Formulación de hipótesis generales y específicos.....	5
1.6.1. Hipótesis General	5
1.6.2. Hipótesis Específicas.....	6
1.7. Variables	6
1.8. Definición teórica y operacionalización de variables.....	6

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	10
2.2. Bases Teóricas	12
2.2.1. Ríos de montaña	12
2.2.2. Característica de los ríos de montaña	13
2.2.3. Morfología Fluvial	14
2.2.4. Hidrogramas de caudales	16
2.2.5. Propiedades de los sedimentos	18
2.2.6. Tamaño de sedimentos	19
2.2.7. Distribución Granulométrica	21
2.2.8. Forma de sedimentos	22
2.2.9. Métodos de muestreo de sedimentos	24
2.2.10. Transporte de sedimentos	31
2.2.11. Ecuaciones de transporte de sedimentos de fondo	34
2.2.12. Modelo de flujo del transporte de sedimentos	38
2.2.13. Medición de transporte de sedimentos de fondo	38
2.2.14. Erosión, transporte y deposición	39
2.3. Bases Conceptuales	40
2.3.1. Sedimento	40
2.3.2. Caudal	40
2.3.3. Pendiente en ríos	40
2.3.4. Perfil Longitudinal	41
2.3.5. Sección transversal	41
2.3.6. Modelamiento	41
2.3.7. Código Python	41

2.4. Bases epistemológicas o bases filosóficas o bases antropológicas	42
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	44
3.1. Ámbito	44
3.2. Población.....	44
3.3. Muestra.....	44
3.4. Nivel y tipo de estudio	45
3.5. Diseño de la investigación	46
3.5.1. Esquema.....	47
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos.....	48
3.6.1. Métodos	48
3.6.2. Técnicas.....	48
3.6.3. Instrumentos	50
3.7. Validación y Confiabilidad de Instrumentos.....	51
3.7.1. Validación	51
3.7.2. Confiabilidad	51
3.8. Procedimiento.....	52
3.8.1. Área y estudio de Campo	53
3.8.2. Hidrograma de caudales	54
3.8.3. Distribución Granulométrica	56
3.8.4. Clasificación en porcentajes de los sedimentos	59
3.8.5. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo	61
3.9. Tabulación y Análisis de Datos	64
3.9.1. Tratamiento de datos atípicos	65
3.9.2. Análisis estadístico.....	91
3.9.3. Confiabilidad de resultados	98
3.9.4. Consideraciones éticas	99
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	100

5.1. Hidrograma de caudales	100
5.2. Distribución granulométrica.....	101
5.3. Clasificación en porcentajes de los sedimentos de fondo	106
5.4. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo	110
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	121
4.1. Discusión de resultados de los ensayos de campo	121
4.2. Contratación de hipótesis.....	122
4.2.1. Contratación de la hipótesis general.....	123
4.2.2. Contratación de las hipótesis específicas	124
CONCLUSIONES	128
RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS	129
REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS.....	131
ANEXOS	142

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de flujo de agua por precipitación e infiltración	13
Figura 2 Esquema de Perfil Longitudinal y Secciones Transversales	15
Figura 3 Esquematzación de la Balanza de Lane para la Condición de Equilibrio	15
Figura 4 Clasificación Morfológica de los Ríos.....	16
Figura 5 Representación básica de un Hidrograma	17
Figura 6 Componentes de un Hidrograma	17
Figura 7 Representación de distribución granulométrica.....	21
Figura 8 Redondez de los sedimentos	23
Figura 9 Procesamiento digital de muestras superficiales.....	25
Figura 10 Análisis de fotografías en BASEGRAIN	28
Figura 11 Esquema de diseño de investigación	47
Figura 12 Diagrama de flujo de trabajo	52
Figura 13 Ubicación general de los puntos de control.....	53
Figura 14 Medición del caudal con correntómetro en el río Huallaga.....	54
Figura 15 Medición de caudal con LSPIV.....	55
Figura 16 Muestreo de sedimentos superficiales en Ambo	56
Figura 17 Orto rectificación de la fotografía de los sedimentos.....	57
Figura 18 Corrección de las imágenes	58
Figura 19 Detección de sedimentos con BASEGRAIN.....	58
Figura 20 Distribución granulométrica con BASEGRAIN	59

Figura 21 Introducción de datos en GRADISTAT.....	59
Figura 22 Resultado individual del análisis en GRADISTAT	60
Figura 23 Resultado de clasificación de una muestra en GRADISTAT.....	60
Figura 24 Excavación de las trampas de fondo en el río Huallaga.....	61
Figura 25 Estacionamiento del punto base con AtlasLink	62
Figura 26 Levantamiento topográfico de las trampas de carga de fondo.....	62
Figura 27 Medición de la pendiente.....	63
Figura 28 Algoritmo para la cuantificación de transporte de sedimentos de fondo	64
Figura 29 Caudales medidos con el correntómetro en San Rafael y Ambo	100
Figura 30 Hidrograma de caudales LSPIV de la Estación San Rafael	101
Figura 31 Hidrograma de caudales LSPIV de la Estación Huancapata Ambo	101
Figura 32 Distribución granulométrica en San Rafael aguas arriba	102
Figura 33 Distribución granulométrica en San Rafael aguas abajo.....	102
Figura 34 Distribución granulométrica en Ambo aguas arriba.....	103
Figura 35 Distribución granulométrica en Ambo aguas abajo	103
Figura 36 Resultados obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo	104
Figura 37 Diámetro D10 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo	105
Figura 38 Diámetro D50 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo	105
Figura 39 Diámetro D90 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo	106
Figura 40 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de San Rafael aguas arriba	106

Figura 41 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de San Rafael aguas abajo	107
Figura 42 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de Ambo aguas arriba	107
Figura 43 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de Ambo aguas abajo	108
Figura 44 Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en San Rafael.....	109
Figura 45 Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en Ambo	109
Figura 46 Forma de sedimentos en San Rafael y Ambo	110
Figura 47 Pendiente del río Huallaga en San Rafael aguas arriba.....	111
Figura 48 Pendiente del río Huallaga en San Rafael aguas abajo	111
Figura 49 Pendiente del río Huallaga en Ambo aguas arriba	112
Figura 50 Pendiente del río Huallaga en Ambo aguas abajo	112
Figura 51 Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo SRUS.....	113
Figura 52 Llenado de la trampa de fondo D50 máximo SRUS.....	114
Figura 53 Llenado de la trampa de fondo D50 promedio SRUS	114
Figura 54 Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo SRDS.....	115
Figura 55 Llenado de la trampa de fondo D50 máximo SRDS.....	115
Figura 56 Llenado de la trampa de fondo D50 promedio SRDS	116
Figura 57 Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo AMUS	116
Figura 58 Llenado de la trampa de fondo D50 máximo AMUS	117
Figura 59 Llenado de la trampa de fondo D50 promedio AMUS.....	117
Figura 60 Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo AMDS	118

Figura 61	<i>Llenado de la trampa de fondo D50 máximo AMDS</i>	<i>118</i>
Figura 62	<i>Llenado de la trampa de fondo D50 promedio AMDS.....</i>	<i>119</i>
Figura 63	<i>Modelo digital de la trampa de fondo en San Rafael aguas arriba</i>	<i>146</i>
Figura 64	<i>Modelo digital de la trampa de fondo en San Rafael aguas abajo</i>	<i>146</i>
Figura 65	<i>Modelo digital de la trampa de fondo en Ambo aguas arriba</i>	<i>147</i>
Figura 66	<i>Modelo digital de la trampa de fondo en Ambo aguas abajo.....</i>	<i>147</i>
Figura 67	<i>Insertar fotografía corregida en BASEGRAIN</i>	<i>148</i>
Figura 68	<i>Reconocimiento de ejes de los sedimentos en BASEGRAIN.....</i>	<i>148</i>
Figura 69	<i>Curvas de distribución granulométrica en BASEGRAIN</i>	<i>149</i>
Figura 70	<i>Curva de distribución logarítmica en BASEGRAIN</i>	<i>149</i>
Figura 71	<i>Ingreso de datos en GRADISTAT</i>	<i>154</i>
Figura 72	<i>Resultados estadísticos en GRADISTAT</i>	<i>154</i>
Figura 73	<i>Clasificación en el diagrama de grava, arena y limo en GRADISTAT</i>	<i>155</i>
Figura 74	<i>Clasificación en el diagrama de arena, limo y arcilla en GRADISTAT</i>	<i>155</i>
Figura 75	<i>Datos de Ingreso para el cálculo.....</i>	<i>164</i>
Figura 76	<i>Algoritmo de cuantificación de transporte de sedimentos de fondo</i>	<i>164</i>
Figura 77	<i>Resultados en CSV del algoritmo en Python.....</i>	<i>179</i>
Figura 78	<i>Análisis gráfico y de datos en Python.....</i>	<i>179</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de Consistencia</i>	7
Tabla 2 <i>Clasificación de los tamaños de los sedimentos</i>	19
Tabla 3 <i>Escala de Udden-Wentworth para clasificación de sedimentos</i>	20
Tabla 4 <i>Clasificación de forma de sedimentos</i>	23
Tabla 5 <i>Metodología usado en BASEGRAIN</i>	27
Tabla 6 <i>Clasificación de suelos y sedimentos</i>	30
Tabla 7 <i>Clasificación de la asimetría de suelos y sedimentos</i>	30
Tabla 8 <i>Clasificación de la curtosis de suelos y sedimentos</i>	30
Tabla 9 <i>Coordenadas de los pozos excavados en el Rio Huallaga</i>	45
Tabla 10 <i>Tabla de Kuder Richardson para coeficientes de confiabilidad</i>	51
Tabla 11 <i>Valores atípicos de caudales en San Rafael</i>	65
Tabla 12 <i>Valores atípicos de caudales en Ambo</i>	65
Tabla 13 <i>Valores atípicos de caudales LSPIV en San Rafael</i>	66
Tabla 14 <i>Valores atípicos de caudales LSPIV en San Rafael</i>	67
Tabla 15 <i>Valores atípicos de D10 en San Rafael aguas arriba</i>	69
Tabla 16 <i>Valores atípicos de D10 en San Rafael aguas abajo</i>	69
Tabla 17 <i>Valores atípicos de D10 en Ambo aguas arriba</i>	70
Tabla 18 <i>Valores atípicos de D10 en Ambo aguas abajo</i>	71
Tabla 19 <i>Valores atípicos de D50 en San Rafael aguas arriba</i>	71
Tabla 20 <i>Valores atípicos de D50 en San Rafael aguas abajo</i>	72

Tabla 21	<i>Valores atípicos de D50 en Ambo aguas arriba.....</i>	73
Tabla 22	<i>Valores atípicos de D50 en Ambo aguas abajo</i>	73
Tabla 23	<i>Valores atípicos de D90 en San Rafael aguas arriba</i>	74
Tabla 24	<i>Valores atípicos de D90 en San Rafael aguas abajo.....</i>	75
Tabla 25	<i>Valores atípicos de D90 en Ambo aguas arriba.....</i>	75
Tabla 26	<i>Valores atípicos de D90 en Ambo aguas abajo</i>	76
Tabla 27	<i>Valores atípicos de porcentaje de grava en San Rafael aguas arriba</i>	77
Tabla 28	<i>Valores atípicos de porcentaje de grava en San Rafael aguas abajo.....</i>	78
Tabla 29	<i>Valores atípicos de porcentaje de grava Ambo aguas arriba.....</i>	78
Tabla 30	<i>Valores atípicos de porcentaje de grava en Ambo aguas abajo</i>	79
Tabla 31	<i>Valores atípicos de porcentaje de arena San Rafael aguas arriba</i>	80
Tabla 32	<i>Valores atípicos de porcentaje de arena en San Rafael aguas abajo.....</i>	80
Tabla 33	<i>Valores atípicos de porcentaje de arena en Ambo aguas arriba.....</i>	81
Tabla 34	<i>Valores atípicos de porcentaje de arena en Ambo aguas abajo.....</i>	81
Tabla 35	<i>Valores atípicos de porcentaje de limo en San Rafael aguas arriba.....</i>	82
Tabla 36	<i>Valores atípicos de porcentaje de limo en San Rafael aguas abajo</i>	83
Tabla 37	<i>Valores atípicos de porcentaje de limo en Ambo aguas arriba</i>	83
Tabla 38	<i>Valores atípicos de porcentaje de limo en Ambo aguas abajo.....</i>	84
Tabla 39	<i>Valores atípicos de forma esférica en San Rafael aguas arriba</i>	85
Tabla 40	<i>Valores atípicos de forma esférica en San Rafael aguas abajo.....</i>	86
Tabla 41	<i>Valores atípicos de forma esférica en Ambo aguas arriba.....</i>	86

Tabla 42	<i>Valores atípicos de forma esférica en Ambo aguas abajo</i>	87
Tabla 43	<i>Valores atípicos de forma cilíndrica en San Rafael aguas arriba</i>	88
Tabla 44	<i>Valores atípicos de forma cilíndrica en San Rafael aguas abajo</i>	88
Tabla 45	<i>Valores atípicos de forma cilíndrica en Ambo aguas arriba</i>	89
Tabla 46	<i>Valores atípicos de forma cilíndrica en Ambo aguas abajo</i>	89
Tabla 47	<i>Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 mínimo</i>	90
Tabla 48	<i>Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 promedio</i>	91
Tabla 49	<i>Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 máximo</i>	91
Tabla 50	<i>Parámetros estadísticos de caudales con correntómetro</i>	91
Tabla 51	<i>Parámetros estadísticos de caudales con LSPIV</i>	92
Tabla 52	<i>Parámetros estadísticos del diámetro D10</i>	92
Tabla 53	<i>Parámetros estadísticos del diámetro D50</i>	93
Tabla 54	<i>Parámetros estadísticos del diámetro D90</i>	93
Tabla 55	<i>Parámetros estadísticos de la clasificación de grava</i>	94
Tabla 56	<i>Parámetros estadísticos de la clasificación de arena</i>	95
Tabla 57	<i>Parámetros estadísticos de la clasificación de limo</i>	95
Tabla 58	<i>Parámetros estadísticos de la forma esférica</i>	96
Tabla 59	<i>Parámetros estadísticos de la forma cilíndrica</i>	97
Tabla 60	<i>Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 mínimo</i>	97
Tabla 61	<i>Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 promedio</i>	98
Tabla 62	<i>Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 máximo</i>	98

Tabla 63 <i>Diámetro nominal D10 en San Rafael y Ambo.....</i>	104
Tabla 64 <i>Diámetro nominal D50 en San Rafael y Ambo.....</i>	104
Tabla 65 <i>Diámetro nominal D90 en San Rafael y Ambo.....</i>	105
Tabla 66 <i>Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en San Rafael</i>	108
Tabla 67 <i>Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en Ambo.....</i>	108
Tabla 68 <i>Porcentaje de las formas presente e San Rafael y Ambo.....</i>	110
Tabla 69 <i>Dimensiones y volumen de las trampas de carga en San Rafael y Ambo.</i>	113
Tabla 70 <i>Tasa de transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo</i>	119
Tabla 71 <i>Cantidad de Ton/año del transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo.....</i>	120
Tabla 72 <i>Cantidad de m³/año del transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo.....</i>	120
Tabla 73 <i>Resultado del análisis ANOVA para la cantidad de transporte de sedimentos</i>	123
Tabla 74 <i>Resultado del análisis ANOVA para los caudales.....</i>	124
Tabla 75 <i>Resultado del análisis ANOVA el diámetro D50</i>	125
Tabla 76 <i>Resultado del análisis ANOVA para los porcentajes de grava.....</i>	127
Tabla 77 <i>Resultados individuales del análisis por muestra en San Rafael aguas arriba</i>	150
Tabla 78 <i>Resultados individuales del análisis por muestra en San Rafael aguas abajo</i>	151
Tabla 79 <i>Resultados individuales del análisis por muestra en Ambo aguas arriba ..</i>	152

Tabla 80 Resultados individuales del análisis por muestra en Ambo aguas abajo...	153
Tabla 81 Resultados de análisis estadístico en GRADISTAT en San Rafael aguas arriba	156
Tabla 82 Resultados de análisis estadístico en GRADISTAT en San Rafael aguas abajo	158
Tabla 83 Resultados de análisis estadístico en GRADISTAT en Ambo aguas arriba	160
Tabla 84 Resultados de análisis estadístico en GRADISTAT en Ambo aguas abajo	162

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estudio de transporte de sedimentos de fondo en un río se ha vuelto importante por la influencia que tienen sobre los proyectos de ingeniería hidráulica. El flujo de un río transporta un caudal líquido y sólido que se encuentra en constante equilibrio, al momento de ejecutar una obra dentro del cauce, se producen problemas de sedimentación, colmatación, desgaste y erosión del cauce mismo aguas abajo, estos problemas se dan por el transporte de sedimentos cuando se ve afectado el equilibrio natural del río. Uno de los parámetros necesarios para entender este proceso es la cantidad de sedimentos que son transportados en cada tiempo ya que con esto se podría realizar diseños acordes a la realidad.

Las investigaciones publicadas por la Autoridad Nacional del Agua (2015) respecto a los sedimentos son genéricos pues el análisis se hace en base al área de las subcuencas que pertenecen a la cuenca del Huallaga, esto por el mismo hecho de que los ríos tienen grandes extensiones y analizarlos de forma puntual requeriría de mayor presupuesto y tiempo de ejecución.

En ese sentido la investigación que se realizó busca poder cuantificar los sedimentos de fondo que hay en los tramos de San Rafael y Ambo, porque son ciudades que están asentadas al borde del Río Huallaga, usando una metodología en base a algunos datos obtenidos en el proyecto realizado por Centro de investigación y tecnología del agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) en el Río Amazonas, el cual estudia el impacto ambiental que tendrá el proyecto de la Hidrovía Amazónica, analizando la hidrodinámica de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas.

El interés de este trabajo de investigación es la de obtener una cuantificación de transportes de sedimentos de fondo, en base a los datos reales que se obtuvieron en

campo, y que sirva como punto de inicio para que las futuras investigaciones o diseños hidráulicos tengan en consideración la importancia de tener en cuenta un análisis detallado de campo.

El primer capítulo trata del problema de investigación, en el cual se fundamenta y formula el problema, así mismo, se formula el objetivo general y los objetivos específicos, se menciona la justificación y las limitaciones que se tuvo. Por último, se define las hipótesis y con ello se realiza el sistema de operacionalización de variables.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico, en base a los antecedentes encontrados de la investigación, así como las bases teóricas y bases conceptuales.

En el tercer capítulo se explica la metodología que se utilizó para el análisis de la información, el cual consta del ámbito, población, nivel y tipo de estudio, las técnicas e instrumentos. Así como el procedimiento, tabulación y análisis de los datos obtenidos.

El cuarto capítulo se explica de forma detallada la discusión de resultados obtenidos después de su análisis, y se contrasta con la hipótesis planteada inicialmente.

En el quinto capítulo se presentan los resultados de toda la investigación de forma concisa para su mejor entendimiento.

Finalmente se obtienen las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del problema de investigación

En la actualidad los proyectos de ingeniería, referidos a la hidráulica, necesitan de un proceso confiable de recolección de datos de los diversos procesos que se dan en las cuencas, donde se piensa emplazar una obra hidráulica (Marengo et al., 2010).

El transporte de sedimentos es una de las variables más importantes a tomar en cuenta para que un proyecto hidráulico sea viable y su tiempo de vida útil sea mayor, por ello Tirado (2014) indica que uno de los principales problemas en una obra hidráulica es la sedimentación y colmatación, producto del transporte de sedimentos de fondo, que al no ser tomados en cuenta hacen que una estructura hidráulica trabaje menos del 50 % y quede inoperativa a largo plazo, por ello es necesario cuantificar los sedimentos que son transportados. Enríquez (2016) en su estudio concluye que el reservorio de Poechos, que es una obra imprescindible en abastecimiento de agua potable, irrigación y generación eléctrica en Piura, trabaja en un 54% de su capacidad debajo de su volumen útil por un proceso acelerado de sedimentación. Aponte (2018) nos menciona que para el año 2017 el embalse de la represa de Gallito Ciego tiene problemas de sedimentación y que tiene 111.61 MMC de sedimentos acumulados, puesto que su compuerta de fondo está enterrada 20 m por debajo de los sedimentos por lo cual no se puede realizar la limpieza respectiva, de esta manera se está quedando inoperativa.

Mendoza López et al. (2015) nos explica que habrá una mayor cantidad de transporte de sedimentos si el caudal y la pendiente aumentan presentando erosión, en cambio sí estas disminuyen se presentara la sedimentación. Bathurst (2000) nos menciona que los sedimentos de fondo son originarios del lecho del río y los sedimentos en suspensión son producto de la erosión de sus márgenes y laderas. De igual manera

Iroume (2003) afirma que las precipitaciones intensas en zonas de montaña incrementan la carga total de sedimentos transportados afectando la dinámica y funcionamiento de las cuencas generando impacto sobre la población y obras hidráulicas.

Hudson (1997) explica que la cuantificación del transporte de sedimento de fondo se puede realizar por medición directa, medición indirecta y por medio de formulaciones empíricas. Heredia (2018) enfatiza que la medición de transporte de sedimentos en sistemas fluviales es poco común debido a su complejidad, su elevado costo, al requerimiento de un prolongado tiempo de medición y procesamiento de muestras. Marengo et al. (2010) indica que los modelos permiten entender y predecir el comportamiento de un sistema ante varios escenarios posibles, si se tiene las variables adecuadas que intervienen en el proceso, siendo así una abstracción de la realidad, que generalmente involucra simplificaciones e idealizaciones.

De acuerdo con lo expuesto se nota la importancia de conocer la cantidad de sedimentos de fondo que son transportados en los ríos, y que deben hacerse un análisis local del mismo y no solo de forma genérica, puesto que las consideraciones no tomadas pueden generar que un proyecto tenga un déficit en su funcionamiento, así como la de alterar el equilibrio natural del río que puede generar una mayor erosión en el cauce.

1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la cantidad de sedimentos de fondo que transporta el Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuál es el caudal promedio del Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo?

- ✓ ¿Cuál es la variabilidad de los D50 de los sedimentos de fondo en el Río Huallaga?
- ✓ ¿Cuál es el porcentaje de grava gruesa presente en los lechos del río Huallaga?

1.3. Formulación de objetivos generales y específicos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la cantidad de sedimentos de fondo transportados en el Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el caudal promedio del Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo
- ✓ Determinar la variabilidad de los D50 de los sedimentos de fondo en el Río Huallaga
- ✓ Determinar los porcentajes de grava gruesa en el lecho del río Huallaga

1.4. Justificación

Martín (2003) enfatiza que un río se encuentra en equilibrio en presencia del transporte de sedimentos cuando esta no sufre modificación de su perfil, para esto se toma en cuenta que el caudal líquido, la pendiente, el caudal sólido y el tamaño del sedimento no deben alterarse frente a un proyecto hidráulico, se debe entender los equilibrios existentes y cuantificar los efectos de su intervención. Determinar la cuantificación del transporte de sedimentos de fondo es importante para generar modelos y metodologías adecuados para el planeamiento, diseño, proyecto, construcción, operación y mantenimiento de obras de ingeniería hidráulica, cuya importancia radica en el control, aprovechamiento, gestión y preservación de los recursos hídricos (Basile, 2018). El estudio de modelos numéricos y software respecto

al transporte de sedimentos de fondo pueden predecir valores de su comportamiento, cuantificarlos y tener datos relativos a la hidrodinámica y sus variaciones morfológicas de los cauces. Así mismo, Peña (2002) afirma que para un modelamiento de transportes de sedimentos de fondo sea válido es necesario la extracción de datos confiables y de experimentos realizados en laboratorio y/o campo.

El Perú es un país que por su geografía tiene ríos provenientes de la Cordillera de los Andes como el Río Huallaga, estos ríos en su mayoría tienen un gran poder de transporte de sedimentos por su extensión y pendiente. Ambo es una provincia en pleno crecimiento poblacional, cuyas ciudades San Rafael y Ambo se expanden en torno al Río Huallaga, el cual requiere de proyectos de ingeniería hidráulica para su aprovechamiento en la irrigación de sus sembríos y en la protección contra inundaciones, que suelen darse en época de invierno, por la colmatación de sus cauces. Estas inundaciones y erosión de suelos en avenidas se hacen más riesgosa en la población que vive al margen de los ríos, en donde se inunda vías y se erosionan las plataformas de la carretera central aledañas, así como la de paralizar el flujo vehicular en los puentes de San Rafael y Huancapata en Ambo puesto que el caudal llega a golpear y sobrepasar la plataforma creando inestabilidad, siendo una de las causas la acumulación de sedimentos.

Actualmente no se cuenta con datos o información confiable de la cuantificación del transporte de sedimentos de fondo en esta zona, pese a su gran importancia en el diseño, por esto se pretende realizar un estudio del transporte de sedimentos usando mediciones directa, como son las trampas de carga de fondo en el mismo río, lo cual nos servirá para cuantificar de manera aproximada los sedimentos de fondo, y posteriormente realizar un modelamiento numérico que relacione la cuantificación del transporte de sedimentos de fondo.

1.5. Limitaciones

La investigación aborda el estudio de transporte de sedimentos de fondo en el Río Huallaga, haciendo uso del método de trampa directa, los cuales se realizaron en la ciudad de San Rafael y Ambo, aguas arriba y abajo respectivamente, siendo estos realizados con una máquina excavadora y que debido a su alto costo los puntos tomados son solo en los dos tramos. Por ello estará sujeto a los datos tomados en esos tramos, los cuales se tomarán para entender su comportamiento mediante un modelamiento.

Una de las limitaciones del método de trampa directa empleado con respecto a otros métodos como el Helley-Smith es que tiene una ubicación fija, la razón de esto es el tipo de río analizado, puesto que por su propia naturaleza de fuerza de arrastre hace más difícil el acceso a la zona media y poder realizar ensayos en diferentes ubicaciones.

Otra limitación se dio a causa del cumplimiento de disposiciones sanitarias para restringir la concentración de personas, traslados y viajes, a fin de evitar la propagación del COVID19, generando la reprogramación de actividades del desarrollo de la tesis, obteniéndose una primera evaluación el mes de octubre, cambiando de esta manera los datos analizados que debían ser de una temporada de estiaje a épocas de lluvia, a una que fue anua. Para poder compensar el inconveniente se realizó el modelamiento numérico con los datos extraídos para así poder tener una proximidad de la cuantificación de sedimentos de fondo transportados en el río Huallaga.

1.6. Formulación de hipótesis generales y específicos

1.6.1. Hipótesis General

H1: La cantidad del transporte de sedimentos de fondo es mayor de 40 m³ al año en el Río Huallaga en el tramo de San Rafael y Ambo.

1.6.2. Hipótesis Específicas

H2: El caudal promedio del Río Huallaga es mayor a 6 m³/s en el tramo de San Rafael y Ambo

H3: El diámetro nominal D50 es muy variable en el lecho del río Huallaga en los tramos de san Rafael y Ambo.

H4. Los porcentajes de grava gruesa en el lecho del río Huallaga son mayores a un 86 % para el tramo de San Rafael y Ambo.

1.7. Variables

La variable dependiente es el modelamiento del flujo y la variable independiente es el transporte de sedimentos de fondo del río Huallaga.

1.8. Definición teórica y operacionalización de variables

La definición operacional de variables, dimensiones e indicadores se muestran en la matriz de consistencia de la Tabla 1:

Tabla 1

Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicador	Instrumento	Unidad
¿Cuál es la cantidad de sedimentos de fondo que transporta el Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo?	Determinar la cantidad de sedimentos de fondo transportados en el Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo	La cantidad del transporte de sedimentos de fondo es mayor de 40 m ³ al año en el Río Huallaga en el tramo de San Rafael y Ambo.	Variable Independiente: Transporte de sedimento de fondo	Cuantificación de Sedimentos	Cantidad de Sedimentos	Algoritmo en Python	m ³
					Periodo de retorno	Tiempo	Año
Problemas Específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicador	Instrumento	Unidad
¿Cuál es el caudal promedio del Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo?	Determinar el caudal promedio del Río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo	El caudal promedio del Río Huallaga es mayor a 6 m ³ /s en el tramo de San Rafael y Ambo		Hidrograma de caudales	Caudal	Correntómetro	m ³ /s
					Tirante	Batimetría	m
¿Cuál es la variabilidad de los D50 de los sedimentos de fondo en el Río Huallaga?	Determinar la variabilidad de los D50 de los sedimentos de fondo en el Río Huallaga	El diámetro nominal D50 es muy variable en el lecho del río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo.	Variable dependiente: Modelamiento del flujo	Distribución granulométrica	Fotografías	Cámara Fotográfica	UND
					Diámetros nominales	BASEGRAIN	mm
¿Cuál es el porcentaje de grava gruesa presente en los lechos del río Huallaga?	Determinar los porcentajes de grava gruesa en el lecho del río Huallaga	Los porcentajes de grava gruesa en el lecho del río Huallaga son mayores a un 86 % para el tramo de San Rafael y Ambo.		Clasificación de los sedimentos de fondo	Cantidad retenida	PHI	%
					Clasificación	GRADISTAT	%

Nota. Elaboración Propia

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

De lo investigado por Muñoz (2013) en la caracterización del transporte de sedimentos de fondo usando trampas de Bunte se concluye que el aporte de sedimentos es de 1236.2 ton, con un aporte de 83 % material de fondo y de un 17 % en suspensión, este bajo aporte de sedimentos en suspensión se debe a la densa capa vegetal en las laderas de la cuenca del arroyo Vuelta de Zorra, en la Reserva Costera Valdiviana del sector de Chaihuín, Región de los Ríos en Chile, siendo su ubicación comprendida entre los 40° 13' hasta 39° 56' latitud sur, y entre 73° 28' longitud oeste con un rango altitudinal variante entre los 10 a 410 m.s.n.m. También en su estudio enfatiza que el caudal sólido de fondo obtenido con el método de Helley-Smith es notoriamente diferente con las Trampas de Bunte para caudales pequeños siendo este último con menores valores, para ese escenario los caudales sólidos solo se asemejaron cuando el caudal líquido es de 6.110 l/s.

El estudio realizado por Meulen (2014) se realizó en las cuencas: Tres Arroyos que es afluente del río Cautín, en la Reserva Forestal Malalcahuello-Nalcas, y El Toro que es un afluente del río Niblinto en la Reserva Nacional de Malleco, ambas cuencas pertenecen a la provincia de Malleco, región de Araucanía en Chile, con unas altitudes de 725 m.s.n.m. con un clima que es templado frío lluvioso con efecto de altura. En el estudio de la movilidad del sedimento de fondo se determinó usando el método de piedras de diferentes tamaños representativos. El caudal de inicio de transporte de sedimentos para Tres Arroyos y El Toro es el 11 % y 13 % respectivamente del caudal de nivel de bankfull, que es el máximo caudal que puede ser encausado por un canal

sin que el agua se desborde sobre la llanura aluvial, y que el caudal bankfull es capaz de movilizar el 91 % de partículas en el río Tres Arroyos y el 86 % de las partículas en el río El Toro.

De la investigación realizada por Marco (2015) realizada en la Rambla de Albuñón, que forma parte de la Cuenca del Segura y es la red principal de drenaje de la comarca del Campo de Cartagena, de la Región de Murcia en España, teniendo un clima semiárido su ubicación en coordenadas en latitud norte y oeste es la de $37^{\circ}41'25''N$ $1^{\circ}04'27''O$. En el análisis y evaluación del transporte de sedimentos usó el Sistema de Información Geográfica (SIG) para definir la geometría del cauce analizado, explica que para la realización del transporte de sedimentos usa los datos obtenidos de la simulación hidráulica y evalúa con la fórmula de Meyer-Peter & Müller que es la que menos cambios tiene, terminado por recomendar realizar pruebas experimentales en campo, así concluye que la concentración de sedimentos a su paso por la sección de la desembocadura para el caudal pico varía entre 600 y 870 mg/l., se puede ver que para un caudal de $260\text{m}^3/\text{s}$ la concentración tiende a un valor constante de 870mg/l.

Del estudio realizado por Cervantes et al. (2016) en la cuenca del río La Estrella de la provincia de Limón en Costa Rica, con una extensión de 1031 km^2 , su clima se caracteriza por ser lluviosa casi todo el año, con una altitud de 102 m.s.n.m. En el cual para la cuantificación del transporte de sedimentos se tomó muestras y realizó aforos en las ubicaciones de Vesta, Atalanta y Pandora, y luego se llevó al laboratorio y así determinar por medio de ecuaciones la cantidad de sedimentos que son transportados. Determinado que el transporte de sedimentos de fondo es muy bajo si se hacen las pruebas de bajas precipitaciones teniendo así valores de 0.157 a $0.240\text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ con sedimentos de diámetro de 0.75 mm a 12 mm.

En la investigación realizada por Toniolo (2020) en la cuenca del río Sagavanirktok del distrito de North Slope en el estado de Alaska, Estados Unidos, con coordenadas de latitud y longitud de $68^{\circ}09'48''\text{N}$ $148^{\circ}55'53''\text{O}$, con una elevación de 1520 m.s.n.m. siendo un río montañoso con presencia de un clima frío con nevadas. En el cual se realizó el estudio de predicción de tasa de transportes de sedimentos del lecho para el cual se excavaron pozos, usando el método de la trampa directa, para cuantificar los sedimentos del lecho, con la información de niveles de agua y su sección transversal se desarrollaron ecuaciones para hacer predicciones del transporte de sedimento llegando a definir que el valor del número de Shields es de $\tau^* = 0.03$ para el río Sagavanirktok, con esta información se definió que el volumen de sedimentos medidos y calculados son relativamente pequeños, esto realizando las comparaciones con informaciones anuales de mediciones en campo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

De lo estudiado por Bonilla (2014) de la cuenca del río Coata, el cual es un afluente del del lago Titicaca, del distrito de Coata, provincia de Puno, región de Puno en Perú, que tiene como coordenadas de latitud y longitud $15^{\circ}49'52''\text{S}$ y $69^{\circ}19'3''\text{O}$, con una altitud de 3814 m.s.n.m. En el cual la determinación del transporte de sedimentos en suspensión, de fondo y total concluye que los sedimentos encontrados en las márgenes del río y en el lecho son las arenas mal graduada $D_m = 1.815\text{ mm}$, arena arcilloso $D_m = 0.6314\text{ mm}$ y arena con limo $D_m = 0.6570\text{ mm}$. La resistencia al flujo es de un promedio de Manning de 0.0340 y un caudal de $73.928\text{ m}^3/\text{s}$. El cálculo del transporte de sedimentos de fondo tiene un valor promedio de $238.18\text{ Tn}/\text{dia}$, resultado de las fórmulas de Meyer Peter y Muller, Einstein y Schoklitsh.

En la investigación realizada por Quincho (2015) en las cuencas: río Puyango-Tumbes, que está ubicado entre la región de Tumbes en Perú y las provincias de Oro y Loja de Ecuador, y cuenca del río Zarumilla que esta de frontera sur occidental de la provincia de Oro, Ecuador, y la región de Tumbes de Perú. Teniendo un clima estacional de lluvias entre enero y abril. El estudio experimental de transporte de suspensión y fondo, concluyo que la dinámica del transporte de sedimentos está relacionada con su geomorfología, suelos, factores climáticos y eventos extraordinarios como El Niño. También que de la Cuenca Puyango-Tumbes se obtuvo un gasto total solido promedio histórico de 1.6 millones de toneladas, del cual 98 % en suspensión y el 2% de fondo, de la cuenca Zarumilla se obtuvo un caudal solido total promedio histórico de 0.1 millones de toneladas anuales, siendo el 75 % en suspensión y el 25 % en fondo.

Del estudio hecho por Córdova (2017) en la cuenca del río Huallaga, en el distrito de Huaylla, en la provincia de Ambo, región Huánuco, con una altitud de 2206 m.s.n.m. siendo una zona de precipitaciones constantes. En el estudio se realizó una simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del Río Huallaga en el cual nos muestra las áreas de inundación en el tramo de Huaylla - Ambo para un periodo de retorno de 2 a 500 años usando el Hec-Ras, mostrándonos lugares de posible depósito de sedimentos dados por la erosión que al colmatarse elevan su nivel, de la misma manera propone el uso de este sistema para poder prevenir inundaciones, entender los recursos que se dispone con cada avenida máxima dada y poder utilizarlos de forma correcta.

En lo estudiado por Huanca (2019) en los tramos desde el puente Ayancocha hasta el puente San Sebastián en la cuenca del río Huallaga, en las provincias de Ambo y Huánuco, región de Huánuco, con una altitud inicial de 2125 m.s.n.m. En el cual estudia sobre la influencia geomorfológica e hidrodinámica del río Huallaga en la caracterización

de transporte de sedimentos entre Ambo y Huánuco, hace uso de un aforamiento del caudal con ADCP y extrae los sedimentos con canastillas metálicas, define los parámetros morfométricos de la cuenca con el ArcGIS, finalmente usa el HEC-HMS y el HEC-RAS para una simulación en la cual se obtuvo que los caudales para un periodo de 25 años es de $373.1 \text{ m}^3/\text{s}$, así mismo que la relación distancia y perfil longitudinal en la geomorfología hace que la característica de los agregados varíen haciéndose de un menor diámetro y la densidad específica varia de 2.543 gr/cm^3 a 2.640 gr/cm^3 .

En la investigación que realizo Sánchez (2021) que analiza los tramos de Chinchavito, Las Orquídeas, Luyando, Puerto Ángel, Aucayacu y Ramal de Aspuzana, en la cuenca del río Huallaga en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco con altitudes entre 610 a 780 m.s.n.m. En este estudio se realizo la caracterización de sedimentos de fondo en seis tramos del rio Huallaga, nos menciona que la forma redondeada es la característica predominante con diámetros medios de 41.32 mm a 627.75 mm , con pesos específicos de 116 gr/cm^3 hasta 588 gr/cm^3 , para estos resultados se usó una distribución probabilística de Log Normal con el cual se pudo representar la granulometría.

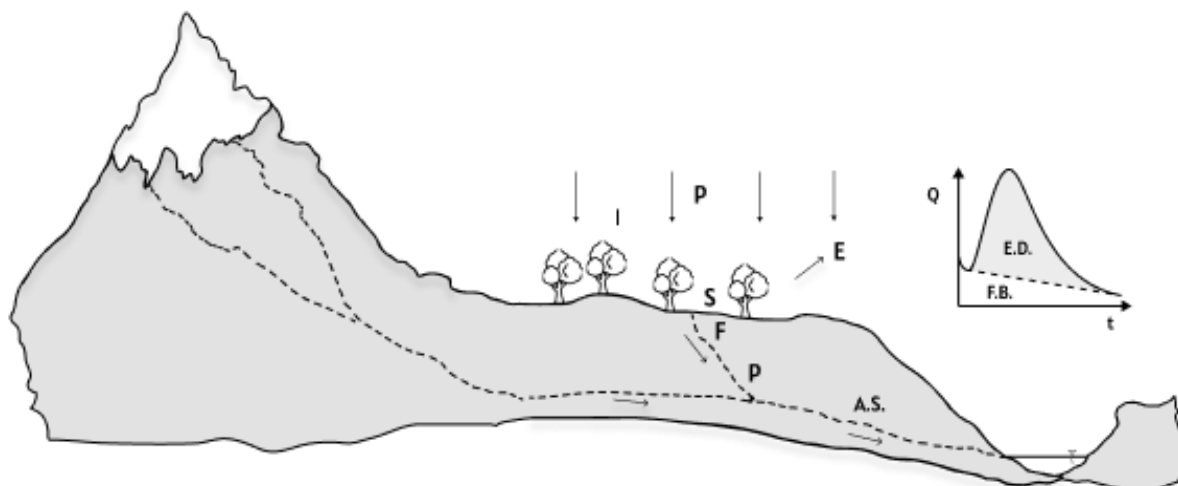
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ríos de montaña

Cruz y Guerra (2017) considera que las escorrentías y agua infiltrada que no pueden ser retenidas por el suelo y subsuelo en la zona alta, se distribuyen como redes fluviales y subsuperficiales dando origen así a los arroyos y ríos. De igual manera López (2005) afirma que los ríos de montaña es aquel flujo de agua natural, perenne o intermitente el cual se encuentra en una región de zona elevada, el cual se puede identificar de acuerdo con su altitud y pendiente.

Figura 1

Esquema de flujo de agua por precipitación e infiltración



Nota. Adaptado de *Distribución del agua llovida* (p. 61), por W. Chereque, 1989, CC BY-NC-ND 2.5 PE.

Los parámetros que se muestran en la Figura 1 son los siguientes:

- ✓ P = Precipitación Total
- ✓ P' = Precipitación neta
- ✓ I = Intercepción
- ✓ S = Almacenamiento superficial
- ✓ E = Evaporación desde el suelo
- ✓ F = Infiltración
- ✓ E.D. = Escorrentía directa
- ✓ F.B. = Flujo base
- ✓ A.S. = Agua subterránea

2.2.2. Característica de los ríos de montaña

De acuerdo con Zhen-Gang (2008) los ríos están en constante cambio por el accionar humano y las condiciones climáticas e hidrológicas, los cuales se dan en sus características morfológicas, hidráulicas y ecológicas siendo en detalle lo siguiente:

- ✓ La pendiente, el ancho y profundidad del río

- ✓ La tasa de flujo y la velocidad de flujo
- ✓ La temperatura del agua
- ✓ El transporte de sedimentos y la deposición de contaminantes
- ✓ La entrada de nutrientes y los procesos de eutroficación

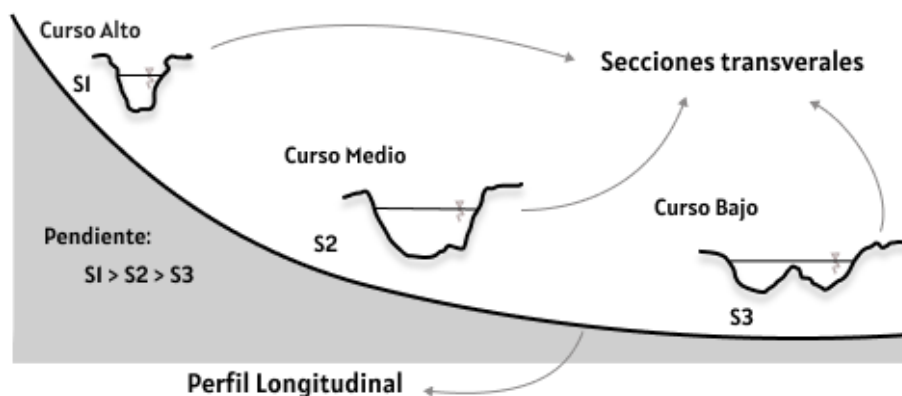
Según Cruz y Guerra (2017) afirma que de acuerdo con sus características hidráulicas como son la pendiente y transporte de sedimentos, los cuales, al ser accionados por un fuerte flujo, se pueden categorizar en flujo de baja concentración, flujo hiper concentrado y lava torrencial.

2.2.3. Morfología Fluvial

La morfología fluvial estudia y analiza los cambios que se dan en el río en su recorrido y sección transversal: perfil longitudinal, el lecho y sus márgenes. De esta manera se puede hacer estudios de su situación actual y de retrospectiva para entender como evolucionó el río (Rocha, 1998). Los factores más relevantes de la morfología fluvial son:

- a) Perfil Longitudinal: Según Rocha (1998) es la relación entre la erosión y sedimentación, puesto que a mayor pendiente mayor erosión y a menor pendiente mayor sedimentación.
 - ✓ Curso Alto: Mayor pendiente, por ende, tiene una tendencia a la erosión, velocidades grandes de flujo y presencia de sedimentos gruesos.
 - ✓ Curso Medio: Mediana pendiente, por ende, tiene una tendencia más al equilibrio entre erosión y sedimentación.
 - ✓ Curso Bajo: Baja pendiente, por ende, tiene una tendencia a la sedimentación, velocidades bajas de flujo y sedimentos finos.

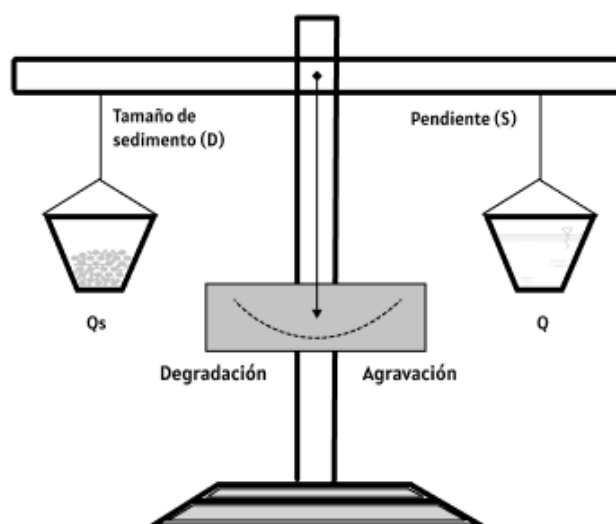
Figura 2
Esquema de Perfil Longitudinal y Secciones Transversales



Nota. Adaptado de *Esquematización del perfil longitudinal y secciones transversales típicas de un río, a lo largo de su recorrido* (p. 183), por A. Rocha, 1998.

- b) Estado de Equilibrio: Lane (1955) afirma que una sección de una corriente está en equilibrio, cuando a pesar de que hay una fluctuación entre agradación y degradación, la cantidad última de cambio no sea muy grande como para ser detectada por mediciones cuantitativas.

Figura 3
Esquematización de la Balanza de Lane para la Condición de Equilibrio

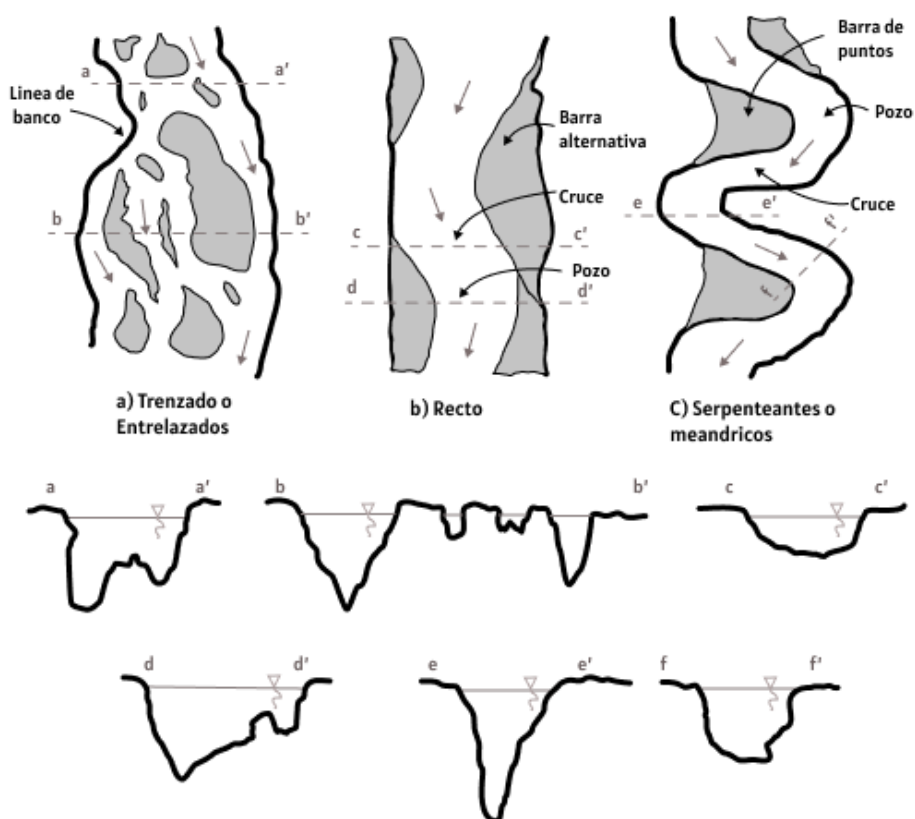


Nota. Adaptado de *Analogía de la balanza de Lane*, (p. 37), por V. Martín, 2003.

- c) Clasificación de ríos: Simons y Şentürk (1992) explica que los ríos pueden clasificarse en función del patrón del canal, es decir, la configuración del río vista de planta. Estos pueden ser rectos, serpenteantes, trenzados o una combinación de ellos.

- ✓ Ríos Rectos: Son los que no siguen un recorrido sinuoso, siendo esto la relación entre la longitud de vaguada y la distancia hacia el valle inferior.
- ✓ Ríos serpenteantes o meándricos: Están compuestos por un recorrido con curvas alternas con forma similar a una S.
- ✓ Ríos trenzados o entrelazados: Son anchos, orillas poco definidas y un recorrido escarpado con divisiones del cauce en torno isletas.

Figura 4
Clasificación Morfológica de los Ríos



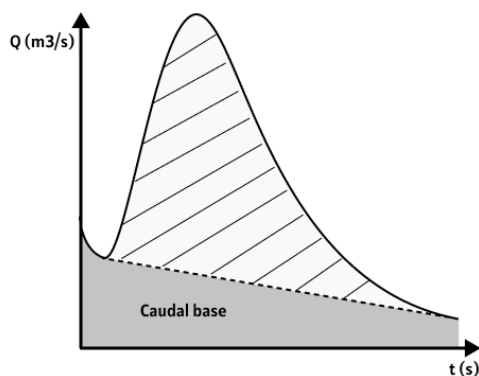
Nota. Adaptado de *River channel patterns [Patrones del canal del río]*, (p. 27), por D. B. Simons y F. Şentürk, 1992.

2.2.4. Hidrogramas de caudales

Como expresa Villón (2002) el hidrograma de un caudal es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, ordenadas cronológicamente. Así mismo la forma irregular de la cuenca, la variación de precipitaciones y las infiltraciones hacen que un hidrograma presente varios picos que

son los caudales máximos. De igual manera Sánchez (2017) menciona que el hidrograma se puede expresar como $Q = f(t)$, en el cual el área bajo un hidrograma es el volumen de agua que pasa por el punto de aforo en un intervalo de tiempo.

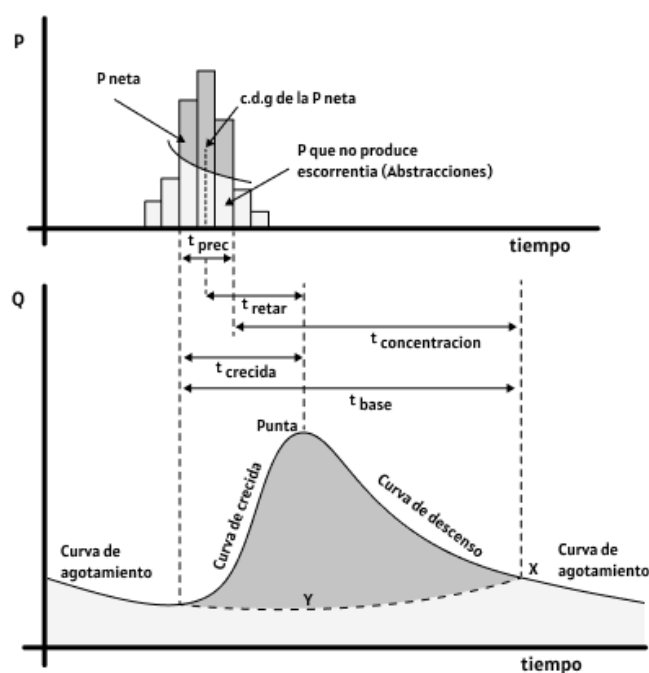
Figura 5
Representación básica de un Hidrograma



Nota. Adaptado de *Hidrograma* (p. 68), por W. Chereque, 1989, CC BY-NC-ND 2.5 PE.

De acuerdo con Sánchez (2017), “en una cuenca real de gran tamaño, cuando se producen precipitaciones, es normal que el caudal previo a las precipitaciones no sea nulo, aunque estaba agotándose lentamente” (p.5) esto se visualiza en la Figura 6:

Figura 6
Componentes de un Hidrograma



Nota. Reproducido de *Hidrología Superficial (II): Hidrogramas*, (p. 3), por J. Sánchez, 2017, Temas (usal.es).

Donde:

- ✓ Tiempo de base = $t_{base} = t_{precip} + t_{conc}$
- ✓ Duración de la precipitación = t_{precip}
- ✓ Tiempo de concentración = t_{conc}
- ✓ Tiempo de retardo = t_{lag}
- ✓ Tiempo de crecida = $t_{crecida}$
- ✓ Precipitación neta = P_{neta}
- ✓ Curva de aumento del hidrograma
- ✓ Punta o pico del hidrograma es la zona que rodea al caudal máximo.
- ✓ Curva de descenso, disminuye progresivamente el caudal.
- ✓ Curva de agotamiento, el caudal procede solamente la escorrentía básica.

2.2.5. Propiedades de los sedimentos

De lo explicado por Hassanzadeh (2012) es la interacción dinámica entre el líquido y sólido las que influyen en las propiedades de los sedimentos, para poder entender esta influencia se dividen en sedimentos cohesivos y no cohesivos. En los sedimentos cohesivos la fuerza de cohesión entre partículas supera las características físicas individuales siendo prioritario en su movimiento, en los sedimentos no cohesivos su movimiento depende de sus propiedades físicas individuales que son el tamaño y la forma. Adicional a esto Basile (2018) explica que las propiedades de los sedimentos se pueden dividir en dos: propiedades individuales, como el tamaño, la forma y velocidad de caída; y propiedades grupales, distribución granulométrica, porosidad, ángulo de reposo y densidad.

2.2.6. Tamaño de sedimentos

Simons y Şentürk (1992) afirman que es la propiedad más importante, puesto que otras propiedades, forma y gravedad específica, varían conforme a esta dimensión. Para fines prácticos el tamaño de la partícula describe suficientemente al sedimento. Así mismo Robert (2003) refiere que el tamaño de un sedimento también es importante para los procesos de transporte de sedimentos, pues influye en cómo y cuándo se iniciara a mover, así como la distancia y velocidad con la cual se desplazara. Según Van Rijn (1993) los diámetros típicos de los sedimentos son:

- ✓ Diámetro del tamiz: Es el diámetro de la abertura del tamiz por el que pasa el sedimento.
- ✓ Diámetro nominal: Es el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que el sedimento.
- ✓ Diámetro de caída estándar: Es el diámetro de una esfera que tiene la misma gravedad específica y velocidad de caída en agua destilada.

Tabla 2
Clasificación de los tamaños de los sedimentos

mm	phi	Terminología de la clase
0.002 – 0.004	> 8	Arcilla
0.004 – 0.062	8 a 4	Limo
0.062 – 0.25	4 a 2	Arena fina
0.25 - 1	2 a 0	Arena media
1 - 2	0 a -1	Arena gruesa
2 - 4	-1 a -2	Gránulos
4 - 64	-2 a -6	Gravilla
64 - 256	-6 a -8	Guijarros
> 256	< -8	Cantos rodados

Nota. Adaptado de *Grain-size categories [Categorías granulométricas]*, (p. 52), por A. Robert, 2003.

La Tabla 2 nos muestra la escala granulométrica de Wentworth que se usa para clasificar el tamaño de los sedimentos, el cual se basa en una secuencia geométrica, expresado en micras “mm” y en unidades logarítmicas “phi” (Robert, 2003, p. 52). Añadido a esto Basile (2018) sostiene que el subcomité de la American Geophysical Union (AGU) adopto la Escala de Udden-Wentworth para la clasificación de sedimentos de acuerdo con su tamaño, usando d (mm) para arenas y sedimentos más grueso, y un d (μm) para sedimentos finos, el cual se expresa en la Tabla 3.

Tabla 3
Escala de Udden-Wentworth para clasificación de sedimentos

Denominación	d (mm)	Φ	d (μm)
Cantos rodados muy grandes	4096 – 2048	-12 a -11	
Cantos rodados grandes	2048 – 1024	-11 a -10	
Cantos rodados medianos	1024 – 512	-10 a -9	
Cantos rodados pequeños	512 – 256	-9 a -8	
Guijarros grandes	256 – 128	-8 a -7	
Guijarros pequeños	128 – 64	-7 a -6	
Grava muy gruesa	64 – 32	-6 a -5	
Grava gruesa	32 – 16	-5 a -4	
Grava mediana	16 – 8	-4 a -3	
Grava fina	8 – 4	-3 a -2	
Grava muy fina	4 – 2	-2 a -1	
Arena muy gruesa	2 – 1	-1 a 0	
Arena gruesa	1 – ½	0 a 1	
Arena mediana	½ - ¼	1 a 2	
Arena fina	¼ - 1/8	2 a 3	
Arena muy fina	1/8 – 1/16	3 a 4	125 – 62.5
Limo grueso	1/16 – 1/32	4 a 5	62.5 – 31.3
Limo mediano	1/32 – 1/64	5 a 6	31.3 – 15.6
Limo fino	1/64 – 1/128	6 a 7	15.6 – 7.80
Limo muy fino	1/128 – 1/256	7 a 8	7.80 – 3.90
Arcilla gruesa	1/256 – 1/512	8 a 9	3.90 – 1.95
Arcilla mediana	1/512 – 1/1024	9 a 10	1.95 – 0.98

Arcilla fina	1/1024 – 1/2048	10 a 11	0.98 – 0.49
Arcilla muy fina	1/2048 – 1/4096	11 a 12	0.49 – 0.24

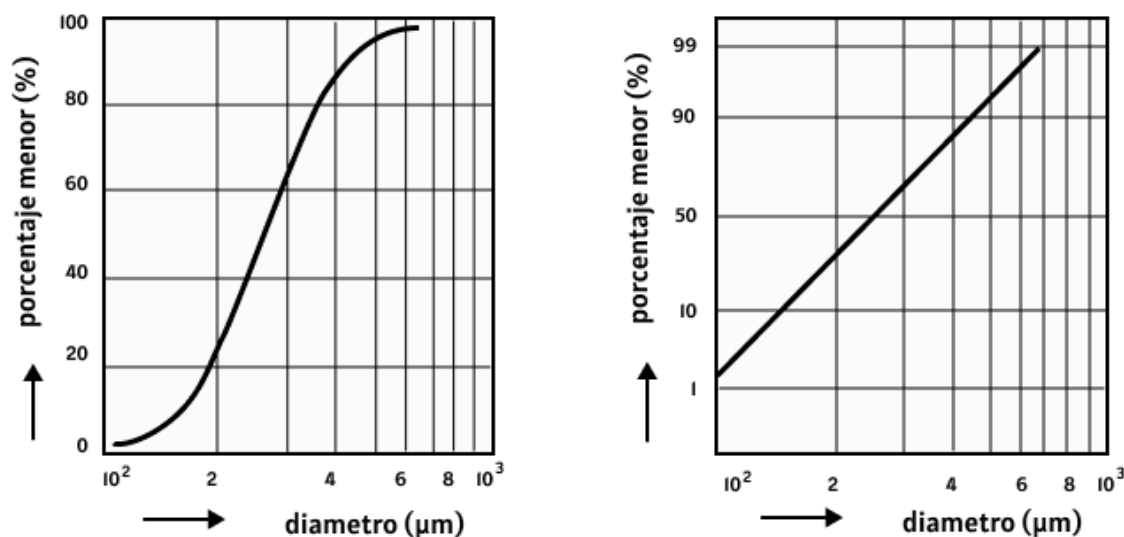
Nota. Adaptado de *Escala Sedimentológica de Udden - Wentworth* (p. 109), por P. Basile, 2018.

2.2.7. Distribución Granulométrica

Raj (2013) explica que el análisis de la distribución granulométrico sirve para determinar el rango de los tamaños de las partículas y su porcentaje en cada uno de los tamaños entre un valor máximo y mínimo. Para su representación Van Rijn (1993) señala que muestra la distribución del material sedimentario en porcentajes de peso, el cual se visualiza en una gráfica de la distribución de frecuencia acumulada el cual se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Representación de distribución granulométrica



Nota. Adaptado de *Particle size curve for a log-normal distribution on logarithmic-linear scale and on logarithmic-probability scale [Curva de tamaño de partícula para una distribución log-normal en escala logarítmica-lineal y en escala logarítmica-probabilística]* (p. 3.12), por Van Rijn, 1993.

Simons y Şentürk (1992) indica que la distribución de frecuencia de tamaño de los sedimentos es en esencia probabilística por lo cual permite describir el sedimento transportado y la mezcla que forman en el lecho de un río, la estructura probabilística puede ser la distribución normal u otra diferente. De los valores obtenidos en la

distribución de frecuencia Chanson (2004) refiere que el d50 es el tamaño de sedimento característico que más se utiliza, el cual representa el 50% en peso del material más fino, así mismo el d10, d75 y d90 representan el 10%, 75% y 90% del peso del material más fino.

2.2.8. Forma de sedimentos

Bunte y Abt (2001) afirma que las formas se caracterizan por dos factores: la forma, que es la relación de las longitudes de sus tres ejes; y la angulosidad, que es si posee bordes angulares o superficie redondeada. Explica Simons y Şentürk (1992) que la forma es la geometría de un sedimento, independientemente de su tamaño o composición, así dos partículas poseen la misma forma si sus intercepciones y ángulos son iguales, así mismo, la forma también se puede definir por su comportamiento dinámico en los fluidos.

García (2008) refiere que los estudios de la velocidad de caída de formas geométricas se representaron en el factor de forma de Corey, que relaciona las longitudes a, b y c, siendo eje mayor, intermedio y menor respectivamente, de la formula se deduce que si $SF = 1$, es una partícula esférica, así mismo para arenas naturales $SF = 0.7$, el factor de forma de Corey queda expresado de la siguiente manera:

$$SF = \frac{c}{\sqrt{ab}}$$

La forma de los sedimentos fue analizada por Zingg (1935) el cual determino una clasificación en base a las medidas de los ejes, para ello estableció dos relaciones axiales para los cantos rodados: b/a , muestra si es isométrico o columnar; y c/b , muestra si es plano, con lo cual se tiene que puede dividirse en cuatro formas: discoidal, esférico, laminar y cilíndrico, esto se representa en la siguiente tabla.

Tabla 4
Clasificación de forma de sedimentos

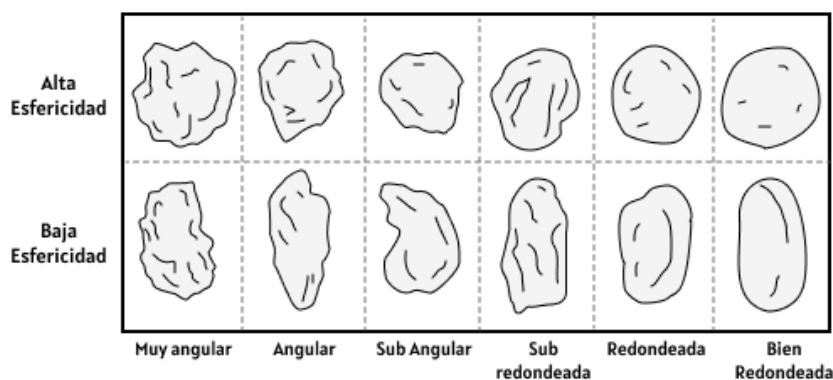
Clase	b/a	c/b	Forma
I	$>2/3$	$<2/3$	Discoidal
II	$>2/3$	$>2/3$	Esférica
III	$<2/3$	$<2/3$	Laminar
IV	$<2/3$	$>2/3$	Cilíndrica

Nota. Adaptado de *Klassifizierung von Partikelformen [Clasificación de las formas de las partículas]* (p. 54), por T. Zingg, 1935.

Krumbein (1941) indica que la redondez de un sedimento es sensible a la abrasión, puesto que durante el movimiento pierde su angularidad, así mismo indica que la velocidad de sedimentación es independiente de la redondez de una partícula, por lo tanto, las condiciones de transporte o de deposición solo se notan cuando estos incrementen la velocidad de desgaste de las partículas.

El factor para tomar en cuenta en la forma de los sedimentos es su esfericidad, Simons y Şentürk (1992) que es la relación entre la superficie de una esfera ideal y la real de la partícula, así mismo, su función es la de describir el movimiento de caída de la partícula en el fluido. Debido a lo difícil de medir la esfericidad se han realizado esquemas que nos permita relacionarlos, en base a sus ejes. Esto se refleja en la Figura 8.

Figura 8
Redondez de los sedimentos



Nota. Adaptado de *Roundness scale [Escala de Redondez]* (p. 118), por M. Powers, 1953.

2.2.9. Métodos de muestreo de sedimentos

Para la medición del tamaño de los sedimentos Switzer y Pile (2015) enfatizan que existen diversos métodos para determinarlo puesto que ninguna ha sido adoptada como norma general de uso, esto se debe a que las partículas presentan secciones transversales diferentes en su orientación y diámetros, lo cual asumiendo una equivalencia a la esfericidad de la partícula se puede llegar a un número indicador característico, por ende al momento de elegir el instrumento y técnica estos deben ser de acuerdo los datos necesarios que satisfagan la investigación. A pesar de ello, los más comunes a utilizar son los protocolos de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) (pp. 331-334). Wohl (2010) refiere que el muestreo de los sedimentos de un lecho de río se puede realizar de dos maneras: muestreo a granel o volumétrico y muestreo superficial de los clastos in situ, para ambos casos es necesario que se aborde la variabilidad espacial de los sedimentos a lo largo del río, con lo cual se pueda tener una muestra representativa que suele hacerse combinando submuestras.

2.2.9.1. Métodos de muestreo superficial

En ríos de montaña realizar un muestreo volumétrico es extremadamente difícil, por las propias dimensiones de los sedimentos y la dimensión del río. Así para realizar un muestreo se necesita aproximadamente 100kg, si se realizase en una menor proporción al 5%, habría más sesgo en los resultados. Por esta razón se suele usar mediciones superficiales (Wohl, 2010). Bunte y Abt (2001) explican que este método recoge las partículas de la superficie del lecho del río, tanto si el lecho está seco como sumergido. En su mayoría es fácil identificar a las partículas, sin embargo, se debe tener cuidado cuando hay partículas grandes rodeando a las de menor dimensión, planteándose así cuáles son los más relevantes para el análisis. Según Basile (2018)

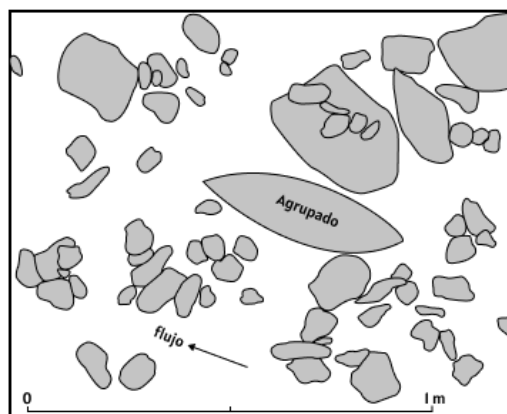
los métodos de muestreo más utilizados son: el conteo de clastos, en el cual se realiza un recorrido en el área y recolectando los sedimentos; el grillado, que consiste en una grilla cuadrada con medidas conocidas en el cual se colocan los sedimentos y se miden los que están dentro; y el de áreas, en el cual se recogen todos los sedimentos, puede ser manual o mediante fotografías en lechos de grava.

2.2.9.2. Caracterización de material de lecho con fotografía

Bunte y Abt (2001) explica que el muestreo superficial con el uso de fotografías se realiza en superficies de menor dimensión sobre el cual se pone una cuadrícula con dimensiones conocidas para su análisis en laboratorio. Así mismo señala que el análisis requiere poco tiempo de muestreo en campo, pero mayor tiempo en laboratorio y son adecuadas para muestras de sedimentos compuestos por arena y grava fina. En su análisis Jong (1995) nos explica que este método nos da un muestreo más completo e inalterado de la capa superficial del lecho del río y que el procedimiento para realizarlo de forma adecuada es colocando una cámara en la parte superior del marco, para tomar una fotografía vertical de las muestras sobre el lecho superficial, posterior a ello se digitaliza y se procede a realizar el conteo mediante un software.

Figura 9

Procesamiento digital de muestras superficiales



Nota. Adaptado de *Example of a digitised diagram obtained from the photo - sieving technique in the Schrniedlaine* [Ejemplo de diagrama digitalizado obtenido a partir de la técnica de foto ~ cribado en la Schrniedlaine] (p. 58), por C. Jong, 1995, CC BY 4.0

Según Graham et al. (2005a) se puede realizar un procesamiento de imágenes el cual elimina la necesidad de digitalizar manualmente cada grano en las imágenes, para esto la imagen se procesó en forma de píxeles, posterior a ello se determina su centroide y sus ejes con lo cual se delimita el grano del sedimento. La precisión de una caracterización con fotografías puede tener un intervalo de confianza del 95% siempre y cuando el procedimiento sea el adecuado, para esto se debe examinar la segmentación de cada imagen para ver si hay errores y corregirlos a tiempo.

El procedimiento para seguir es descrito por Graham et al. (2005b) es la recogida de imágenes, el preprocesamiento de imágenes, el procesamiento y análisis de imágenes y finalmente la obtención de la distribución granulométrica, el cual se detalla en los siguientes ítems:

- I. Recogida de imágenes: Se debe colocar un marco con puntos de referencia o dimensiones conocidas sobre el lecho del río y posterior a ello se tomará una fotografía vertical.
- II. Preprocesamiento de imágenes: La información de color no es necesaria por lo cual se convierte la imagen a una escala de grises que permite una mejor visualización del sedimento.
- III. Procesamiento y análisis de imágenes: Utilizando los puntos de referencia se selecciona los granos dentro del marco de referencia y se comienza a realizar el cálculo de las dimensiones de sus ejes, haciendo uso de un código de programación o software.
- IV. Obtención de una distribución granulométrica: Del cálculo de longitudes de los ejes y áreas de los sedimentos se usa fórmulas que nos permita relacionar sus dos ejes, el cual nos da una distribución de tamaños comparable a los datos derivados del tamiz.

2.2.9.3. Procesamiento de fotografías con BASEGRAIN

Detert y Weitbrecht (2011) evalúan y presentan un método inicial de reconocimiento automático de imágenes en base a un código de programación en MATLAB, el cual permite obtener una distribución de tamaños de sedimentos haciendo una conversión del muestreo a un análisis del número de líneas. BASEGRAIN es un software creado a base de un algoritmo de detección de objetos en un código de MATLAB, sirve para realizar un análisis granulométrico de las fotografías tomadas de forma vertical para lechos de grava de ríos no cohesivos, el cual mediante una interfaz gráfica permite el pre y post procesamiento para determinar los ejes y el área de los sedimentos, la metodología que realiza es la que se muestra en la Tabla 5 (Detert y Weitbrecht, 2013).

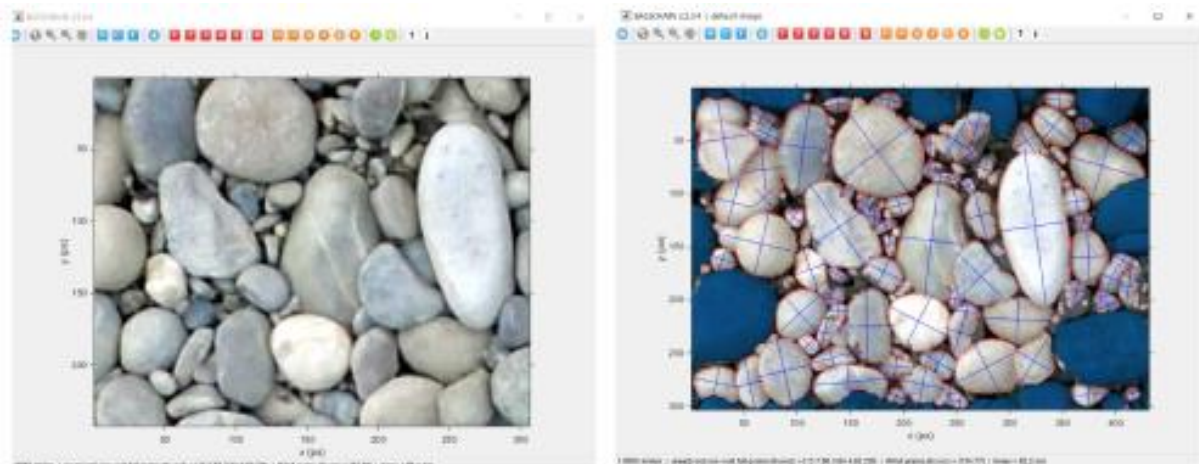
Tabla 5
Metodología usado en BASEGRAIN

Número	Paso	Descripción
1	Detección de intersticios	Utiliza un enfoque doble umbral de escala de grises
2	Filtrado morfológico de fondo	Se detectan las posibles áreas de intersticio conectadas
3	Técnicas de filtro de gradiente	Se detectan los bordes fuertes y débiles
4	Cambio del enfoque de análisis	Se separan las áreas de grano único
5	Propiedades de la región	Se determinan los diámetros de las áreas de cada grano

Nota. Adaptado en base a la metodología de *User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN [Guía del usuario para el análisis de imágenes gravelométricas de BASEGRAIN]* (pp. 1790-1791), por Detert y Weitbrecht, 2013.

La última versión disponible de BASEGRAIN es la v2.2 la cual cuenta con una interfaz muy detallada para su adecuado uso y también posee manuales en los cuales podemos aprender a usar los comandos del programa (Detert, 2014). Así mismo, Detert (2020) ha puesto al alcance el código fuente de programación completo para su acceso público y gratuito, puesto que el software no se desarrollará más y da carta abierta a que más personas interesadas al tema lo desarrollen por su cuenta.

Figura 10
Análisis de fotografías en BASEGRAIN



Nota. Reproducido a partir de una *muestra de ejemplo para procesamiento de una fotografía en el software de BASEGRAIN, desarrollado por M. Detert, 2014, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, VAW ETH Zürich.*

Rains (2019) adiciona que BASEGRAIN depende de la resolución de las imágenes para poder hacer mediciones óptimas, puesto que, depende de los píxeles que tienen los granos para su identificación. Asimismo, Naito (2021) explica que se puede utilizar Photoshop para corregir las condiciones de luz y ajustar la distorsión, y rectificar el área de interés de las fotografías tomadas. Esto también se corrobora con lo mencionado por Graham et al (2010) explica que anteriormente para el tratamiento de imágenes se usaba la digitalización manual mediante el software de Adobe Illustrator, el cual es similar a Photoshop. Con este software se dibujaba los granos y luego las mediciones se realizaban usando Scion Image.

2.2.9.4. Distribución granulométrica con GRADISTAT

Krumbein (1938) indica que los momentos logarítmicos de los datos analizados mecánicamente generan una forma de estudio de los sedimentos a través de su relación de parámetros y dimensiones. Así, postula la curva normal phi, el cual tiene forma de campana y es simétrica a su valor medio estando descrita por dos parámetros, la media phi y la desviación estándar phi. Esto se comparó con los métodos analíticos y se

corroboró su funcionamiento. En la misma línea de investigación Folk y Ward (1957) refiere que los valores de curtosis y asimetría casi normales son la forma unimodal y los no normales se consideran características bimodales de los sedimentos. Asimismo, el tamaño medio, la desviación estándar y la simetría están vinculadas en una ecuación helicoidal, con lo cual evaluando los valores de curtosis se muestra su forma logarítmica a través de la hélice de esta forma se diagnostica los sedimentos de dos generaciones. A partir de esta evaluación se clasifican los sedimentos a través de funciones que relacionan los dos modos del sedimento. Basándose en estas dos teorías Blott y Pye (2001) crean GRADISTAT, que es un programa desarrollado en Visual Basic que está integrado con las Hojas de Cálculo de Excel de Microsoft Office el cual permite tener una interfaz para determinar las estadísticas granulométricas usando al método de Folk y Ward (1957) y el método de momentos de Krumbein y Pettijohn (1938). Mediante ello se calcula el tamaño medio, moda, desviación estándar, asimetría y el grado de concentración o curtosis, los cuales se muestran en forma tabular y gráfica. Las fórmulas estadísticas que utiliza el programa de GRADISTAT se muestran en los siguientes ítems:

- a) Método aritmético de los momentos.
- b) Método geométrico de los momentos.
- c) Método logarítmico de los momentos.
- d) Medidas gráficas logarítmicas (originales) Folk y Ward (1957).
- e) Medidas gráficas geométricas (modificadas) de Folk y Ward (1957).

Adicional a esto Hashim et al. (2018) menciona que las muestras que contienen varios tipos de sedimentos tendrán una gran desviación estándar y están mal clasificados; y las muestras con un rango de tamaño de grano pequeño tendrán una desviación estándar pequeña, por lo que están bien clasificados. Así mismo menciona

que las clasificaciones que usa el programa GRADISTAT son una normal, por asimetría y por curtosis los cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6
Clasificación de suelos y sedimentos

Rango de clasificación (ϕ)	Descripción de la clasificación
< 0.35	Muy bien clasificado
0.35-0.50	Muy clasificado
0.50-0.70	Moderadamente bien clasificado
0.70-1.00	Moderadamente clasificado
1.00-2.00	Mal clasificado
2.00-4.00	Muy mal clasificado
4.00	Extremadamente mal clasificado

Nota. Adaptado de *Sorting Classification of Soil and Sediment [Clasificación de suelos y sedimentos]* (p. 158), por Hashim et al., 2018, CC BY 3.0

Tabla 7
Clasificación de la asimetría de suelos y sedimentos

Rango de asimetría (ϕ)	Descripción de la asimetría
< +0.3	Asimetría muy fina
+0.1 a +0.3	Asimetría fina
+0.1 a -0.1	Simetría
-0.1 a -0.3	Asimetría gruesa
> -0.3	Asimetría muy gruesa

Nota. Adaptado de *Skewness Classification of Soil and Sediment [Clasificación de la asimetría del suelo y los sedimentos]* (p. 158), por Hashim et al., 2018, CC BY 3.0

Tabla 8
Clasificación de la curtosis de suelos y sedimentos

Rango (ϕ)	Tipo de Curtosis
<0.67	Muy Platicúrtico
0.67-0.90	Platicúrtico
0.90-1.11	Mesocúrtico
1.11-1.50	Leptocúrtico
1.50-3.00	Muy leptocúrtico
>3.00	Extremadamente Leptocúrtico

Nota. Adaptado de *Kurtosis Classification of Soil and Sediment [Clasificación de la curtosis del suelo y los sedimentos]* (p. 158), por Hashim et al., 2018, CC BY 3.0

2.2.10. Transporte de sedimentos

Como argumenta Zhen-Gang (2008) el transporte de sedimentos es el proceso de erosión de los sedimentos, transportándolos por medio de un flujo y depositándolos en un lugar diferente a su origen. Esta erosión se produce cuando el esfuerzo cortante aplicado al lecho supera su valor crítico y la deposición se da cuando se supera la capacidad de transporte del flujo. Adiciona Ward et al. (2016) que los sedimentos son transportados como: carga de lavado, que son partículas muy finas que no pueden depositarse en el flujo; carga suspendida, el cual se desplaza y permanece suspendida en el flujo, están conformadas por limo y arena fina; y carga de lecho, es la que se moviliza cerca al lecho por una serie de factores que son la de deslizamiento, rodadura y saltación.

2.2.10.1. Transporte de sedimentos de fondo

García (2008) explica que las partículas de lecho ruedan, se deslizan y saltan en el mismo lecho, por lo tanto, el transporte es tangencial al lecho. Así la carga de lecho se puede definir como el producto de la concentración de sedimentos, la velocidad de los sedimentos y el espesor de la capa de carga de lecho, el cual se puede expresar en la siguiente fórmula:

$$q_b = u_b c_b \delta_b$$

Donde:

- ✓ q_b es el transporte volumétrico de la carga de lecho (m^2/s)
- ✓ c_b es la concentración volumétrica de sedimentos (volumen de sedimentos / volumen de la mezcla de agua y sedimentos)
- ✓ u_b es la velocidad de los sedimentos (m/s)
- ✓ δ_b es el espesor de capa de carga de lecho (m)

Así mismo, Van Rijn (1993) refiere que el transporte de carga de lecho o fondo, también se puede definir como el producto del número de las partículas en movimiento por unidad de superficie, el volumen y la velocidad como se muestra en la siguiente fórmula:

$$q_b = N_b V_b u_b$$

Donde:

- ✓ N_b es el número de partículas en movimiento por superficie (m^2/s)
- ✓ V_b es el volumen de las partículas
- ✓ u_b es la velocidad de las partículas (m/s)

Adicional a esto García (2008) argumenta que si la velocidad de sedimentos es definida como la relación entre la longitud de saltación o de paso λ y el periodo de movimiento T (i. e. $u_b = \lambda/T$) se tiene que la fórmula sería:

$$q_b = N_b V_b u_b = E_p \lambda = D_p \lambda$$

Donde:

- ✓ E_p y D_p es el volumen de sedimentos erosionados y depositado por unidad de superficie (m/s)
- ✓ $E_p = D_p$ son las condiciones de transporte de carga de lecho en equilibrio

2.2.10.2. Conservación de la masa de sedimentos: La ecuación de Exner

Zhen-Gang (2008) argumenta que la dificultad para predecir las tasas de transporte de la carga de lecho se relaciona con la complejidad e irregularidad de las superficies de los sedimentos gruesos, el cual conduce a problemas específicos que son: el momento de inicio del transporte de sedimentos, efectos de la forma de lecho y el propio movimiento de la carga de lecho. Para solucionar esto se desarrolla una ley de

conservación de la masa de los sedimentos que según Paola y Voller (2005) explica que la ecuación de Exner se estableció para determinar el balance de la masa de sedimentos en los ríos, el cual lo expresa en su ecuación donde: h es la elevación del lecho, t es el tiempo, A es un coeficiente, U es la velocidad media del flujo y x es la distancias aguas abajo. La Ecuación de Exner queda expresado de la siguiente forma:

$$\frac{\delta\eta}{\delta t} = -A \frac{\delta U}{\delta x}$$

García (2008) adiciona que la conservación de masas de sedimentos en el transporte de lecho formula la interacción entre el sedimento del lecho y la columna de agua a través de la erosión y deposición. Esto se puede representar por la tasa de volumen de erosión E_r , la tasa adimensional de arrastre de sedimentos E_s y la velocidad de caída de sedimentos v_s , quedando expresado en $E_r = v_s E_s$. Parker (2004) explica que el modelo de 1D del transporte de sedimentos explica la tendencia del movimiento de las dunas rio abajo y su tendencia a volverse asimétricas, aun si no logra explicar el origen de las dunas, puesto que ello se aplica en un análisis 2D. Aun así, la morfodinámica 1D es la puerta de entrada para entender la morfodinámica 2D y 3D.

Así mismo Parker (2004) refiere que las ecuaciones que se suelen usar en modelos 1D, son las Ecuaciones de aguas poco profundas de St. Venant; Ecuación de Exner de la conservación del sedimento de lecho; y la relación entre la velocidad de transporte de sedimentos y la hidráulica del flujo, los cuales se muestra en las siguientes expresiones matemáticas:

- ✓ Ecuaciones de aguas poco profundas de St. Venant:

$$\frac{\delta H}{\delta t} + \frac{\delta UH}{\delta x} = 0$$

$$\frac{\delta UH}{\delta t} + \frac{\delta U^2 H}{\delta x} = -\frac{1}{2} gH \frac{\delta H}{\delta x} - gH \frac{\delta \eta}{\delta x} - C_f U^2$$

- ✓ Ecuación de Exner de conservación del sedimento de lecho:

$$(1 - \lambda_p) \frac{\delta \eta}{\delta t} = - \frac{\delta q_t}{\delta x}$$

- ✓ Relación entre la velocidad de transporte de sedimentos y la hidráulica de flujo:

$$q_t = q_t(U)$$

2.2.11. Ecuaciones de transporte de sedimentos de fondo

Wohl (2010) explica que se han desarrollado diversas ecuaciones de transporte de carga de lecho a partir de datos empíricos. Su aplicabilidad se ve limitada por la cantidad de carga de lecho para la energía de flujo disponible y en donde hay sedimentos gruesos la cantidad de carga se ve limitado por el sedimento disponible. Así mismo las ecuaciones se centran en la tensión de tracción de grano, la potencia de la corriente por unidad de superficie, la descarga de la corriente y las funciones estadísticas para el movimiento de sedimentos. Vanoni (2006) argumenta que para la ingeniería de ríos es necesario tener métodos para calcular la descarga de sedimentos, sin embargo, los métodos disponibles no son tan satisfactorios como se esperaría, y en el mejor de los casos nos sirven como guía para la planificación al momento de realizar un diseño. García (2006) describe que las relaciones de carga de lecho pueden expresarse de forma adimensional general como: $q^* = q^*(\tau^*, R_{ep}, R)$, donde q^* es la tasa de transporte de carga de lecho o el número de carga de lecho de Einstein. Asimismo, la fórmula de Einstein se define en base a: q_b , tasa de transporte volumétrico de la carga de lecho; g , es la aceleración de la gravedad; $R = (\rho_s - \rho)/\rho$, gravedad específica sumergida del sedimento; D , diámetro de las partículas y $R_{ep} = \sqrt{gRDD}/v$, es el numero de Reynolds, quedando expresado la fórmula de la siguiente manera:

$$q^* = \frac{q_b}{D\sqrt{gRD}}$$

2.2.11.1. Ecuación de Meyer – Peter y Müller

García (2006) esquematiza la ecuación de Meyer-Peter y Müller en base a una relación de transporte de carga de lecho, el cual queda definido como:

$$q^* = 8(\tau^* - \tau_c^*)^{3/2}$$

Donde: $\tau_c^* = 0.047$ es la tensión de corte adimensional, el cual fue verificado en arenas gruesas y gravas uniformes. Además, en un estudio realizado por Wong y Parker (2006) se postula dos modificaciones alternativas a esta fórmula quedando definidas de la siguiente forma:

$$q^* = 4.93 (\tau^* - 0.047)^{1/6}$$

$$q^* = 3.97 (\tau^* - 0.00495)^{3/2}$$

2.2.11.2. Ecuación de Einstein

García (2006) explica que la relación propuesta por Einstein es $q^* = q^*(\tau^*)$ el cual tiene una funcionalidad implícita el cual constituye el primer intento de derivar una función de carga de lecho. Se recomienda para determinar transporte de sedimentos en ríos grandes, pero no en pequeños y la formula queda expresada así:

$$1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\left(\frac{0.413}{\tau^2}\right)^{-2}}^{\left(\frac{0.413}{\tau^2}\right)^{-2}} e^{-\tau^2} dt = \frac{43.5q^*}{1 + 43.5q^*}$$

2.2.11.3. Ecuación de Ashida y Michiue

García (2006) menciona que esta ecuación recomienda un valor de $\tau^* = 0.05$, el cual se verifico para materiales cuyo tamaño esta entre 0.3 mm y 7 mm, la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$q^* = 17(\tau^* - \tau_c^*)[(\tau^*)^{1/2} - (\tau_c^*)^{1/2}]$$

2.2.11.4. Ecuación de Yalin

García (2006) explica que para esta ecuación se han usado dos constantes evaluadas de los datos iniciales de Einstein y se iguala τ^* a partir de la curva de Shields, quedando expresado en estas dos ecuaciones.

$$q^* = 0.635s(\tau^*)^{1/2} \left[1 - \frac{\ln(1 + a_2s)}{a_2s} \right]$$

$$a_2 = 2.45(R + 1)^{0.4}(\tau_c^*)^{1/2} \text{ y } s = \frac{\tau^* - \tau_c^*}{\tau_c^*}$$

2.2.11.5. Ecuación de Van Rijn

García (2006) menciona que puede usarse para estimar un transporte de carga de lecho con partículas cuyo tamaño medio esta entre 0.2 y 2.0 mm, así mismo la ecuación está en base a su diámetro de partícula D_* ; el parámetro T de la etapa de transporte, τ_s^* el esfuerzo cortante de lecho debido a la fricción y τ_c^* el esfuerzo cortante crítico para el movimiento, las ecuaciones son las siguientes:

$$D_* = D_{50} \left(\frac{gR}{v^2} \right)^{1/3} = Re_p^{2/3}; T = \frac{\tau_s^* - \tau_c^*}{\tau_c^*}$$

$$q^* = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}$$

2.2.11.6. Ecuación de Parker

García (2006) menciona que es una simplificación de la relación de Einstein para el rango de números de Shields, el cual se usó en arroyos con lecho de grava, dejando la siguiente ecuación:

$$q^* = 11.2 \frac{(\tau^* - 0.03)^{4.5}}{\tau^{*3}}$$

Asimismo, Parker (2004) describe que se modificó la ecuación anterior a una relación de mezclas de carga de las tasas de transporte en el cual el cálculo de W_i^*, F_i debe ser re normalizado para quitar la arena y las fracciones de grava sumen a la unidad $\Sigma F_i = 1$. Así, el método se basa en el tamaño geométrico del sedimento D_{sg} y la desviación estándar σ_s ambos calculados a partir de las fracciones re normalizadas F_i teniendo las siguientes ecuaciones:

$$W_i^* = 0.00218G(\varphi_i)$$

$$\varphi_i = \omega \varphi_{sgo} \left(\frac{D_i}{D_{sg}} \right)^{-0.0951} ; \varphi_{sgo} = \frac{\tau_{sg}^*}{\tau_{ssrg}^*} ; \tau_{sg}^* = \frac{U_*^2}{RgD_{sg}} ; \tau_{ssrg}^* = 0.0386$$

$$G(\varphi) = \begin{cases} 5474 \left(1 - \frac{0.853}{\varphi} \right)^{4.5} & \text{para } \varphi > 1.59 \\ \exp[14.2(\varphi - 1) - 9.28(\varphi - 1)^2] & \text{para } 1 \leq \varphi \leq 1.59 \\ \varphi^{14.2} & \text{para } \varphi > 1 \end{cases}$$

$$\omega = 1 + \frac{\sigma_s}{\sigma_o \varphi_{sgo}} [\omega_o(\varphi_{sgo}) - 1]$$

$$D_{sg} = 2^{\psi_s} ; \psi_s = \sum_{i=1}^N \psi_i F_i ; \sigma_s^2 = \sum_{i=1}^N (\psi_i - \psi_s)^2 F_i$$

2.2.11.7. Ecuación de Niño y García

García (2006) menciona que esta ecuación se obtiene de una descripción lagrangiana del transporte de carga de lecho por partículas salientes y comprobada por transporte de grava y arenas, en el cual resultó que el coeficiente de fricción dinámica es $\mu_d = 0.23$, así la forma de la ecuación queda determinada de la siguiente manera:

$$q^* = \frac{12}{\mu_d} (\tau_* - \tau_{*c}) \left(\tau_*^{\frac{1}{2}} - 0.7\tau_{*c}^{\frac{1}{2}} \right)$$

2.2.12. Modelo de flujo del transporte de sedimentos

Escauriaza et al. (2017) refieren que los modelos de flujo computacionales son esenciales, pues representan de forma simplificada la dinámica de los sistemas fluviales en base a las leyes de conservación, el cual se da mediante ecuaciones que describen el estado del sistema, así mismo, el tiempo y la longitud. A pesar de los avances de potencia en calculo y estrategias numéricas las predicciones de los caudales y dinámica de los sedimentos siguen siendo un gran reto debido a su gran variedad y complejidad de los fenómenos naturales. Zhen-Gang (2008) explica que los modelos simulan las variaciones temporales y espaciales debido a las variaciones de cargas externas, condiciones meteorológicas y procesos internos. En la modelización de ríos pocos profundos se suele usar modelos 1D, puesto que sus gradientes y laterales son menores. Así mismo, un modelo numérico suele generarse en base a los siguiente:

- ✓ Teorías básicas expresadas en ecuaciones diferenciales
- ✓ Ecuaciones diferenciales discretizadas en ecuaciones diferenciales finitas
- ✓ Resolución de ecuaciones diferenciales finitas mediante algoritmos numéricos
- ✓ Programas informáticos en base a ecuaciones diferenciales finitas y algoritmos numéricos

2.2.13. Medición de transporte de sedimentos de fondo

Gordon et al. (2004) argumenta que el muestreo preciso de la carga de lecho es difícil debido al movimiento de los sedimentos en las barras, las ondulaciones y las dunas, la naturaleza de inicio de movimiento y el problema de muestrear eficazmente sedimentos muy grandes, por ello es importante elegir el método y la muestra representativa. Entre las formas de obtener estimaciones de la carga de lecho son: muestreadores de carga de lecho, partículas trazadoras, mediciones de acumulaciones

de sedimentos y estimaciones generales basadas en carga suspendida y el tipo de material del canal, Bathurst (2000) explica que un buen captador de fondo se considera cuando tiene una eficiencia de 60 – 70 % en la captación de la carga total de fondo y que otra forma para las mediciones de carga de lecho son con estructuras fijas y equipos portátiles:

- ✓ Estructuras Fijas: Trampas de carga de fondo, tubo – vórtice y acústico.
- ✓ Equipos Portátiles: Entre los captadores que más se usan con el de Helley-Smith y a la del ADCP (Perfiles Acústicos Doppler).

Adiciona Bathurst (2000) que la trampa de carga de fondo nos da una proporción de la cantidad del transporte de sedimentos de fondo para intervalos de tiempos específicos y que consiste en una trinchera excavado en el lecho del río.

2.2.14. Erosión, transporte y deposición

Gordon et al. (2004) refiere que el movimiento de los sedimentos consta de tres etapas: erosión que es el inicio de movimiento, transporte aguas abajo y la deposición. El movimiento consiste en periodos de actividad y de descanso, de acuerdo con la temporalidad del medio ambiente, así a mayor flujo de corriente mayor erosión, transporte y deposición de sedimentos.

Julien (2018) adiciona que en los ríos una degradación se refiere a la disminución del lecho debido a la erosión, esto se produce cuando la carga de sedimentos de salida supera a la carga de sedimentos de entrada. Así mismo la agradación o sedimentación del cauce se refiere a un aumento gradual de la elevación del lecho, el cual se da cuando la cantidad de sedimentos de entrada es mayor a los de salida.

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Sedimento

Los sedimentos según Chieng y Wan (1999) son partículas sólidas o desechos que son transportados por la corriente de agua, el viento, las olas, los glaciares y la fuerza de gravedad, terminando en medios fluidos o en depósitos. Adicionalmente Chang (2013) que los sedimentos en un río pueden estar en suspensión, sin contacto con el lecho; en saltación, rebotando a lo largo del lecho; y en lecho, rodando a lo largo del lecho.

2.3.2. Caudal

Gordon et al. (2004) define que el caudal como la velocidad con la que un volumen de agua atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo, el cual se expresa en unidades de metros cúbicos por segundo, m^3/s . Viessman y Lewis (1996) refiere que los caudales de ríos son generados por las precipitaciones y agua subterránea, siendo esta última la que lo mantiene con un caudal base en épocas de estiaje.

2.3.3. Pendiente en ríos

La pendiente se puede expresar como la tasa de cambio de la elevación con la distancia a lo largo del recorrido de un flujo principal o dentro de un área de flujo (Bedient et al., 2013). Así mismo Zhen-Gang (2008) señala que para medir la pendiente en un río es necesario conocer la diferencia de elevación entre dos puntos del río y dividirla por la longitud del río entre ambos puntos. Leopold et al. (1992) explica que la pendiente en su conjunto tendría un mismo ángulo de inclinación si la superficie fuera rectilínea, sin embargo, si analizamos por segmentos no sería así, puesto que la superficie no es uniforme, para esto se suele hacer ajustes matemáticos y luego comparar las constantes

de las ecuaciones. También es habitual hacer una simplificación del esquema de los perfiles.

2.3.4. Perfil Longitudinal

El perfil longitudinal muestra como varia la elevación de una corriente durante su recorrido mostrando una forma cóncava característica. Así mismo, el perfil longitudinal se verá modificado por la topografía del terreno, las características del lecho y cambios en el material del lecho (Gordon et al., 2004). Fitzpatrick (2017) refiere que también ayuda a comprender la continuidad del flujo y la dinámica de los sedimentos desde la cabecera hasta su desembocadura, teniendo así una zona de erosión, transferencia y deposición de los sedimentos.

2.3.5. Sección transversal

Gordon et al. (2004) nos menciona que la sección transversal permite ver la anchura, profundidad y topografía del lecho del río, el procedimiento para obtener la sección transversal consiste en realizar mediciones verticales en varios puntos a lo largo de una línea horizontal, con lo cual se obtiene distancias y el nivel del agua.

2.3.6. Modelamiento

Zhen-Gang (2008) explica que el modelamiento simula las variaciones en tiempo y espacio de los fenómenos naturales, los cuales se puede realizar en base a 1D, 2D y 3D, todo dependiendo de la dimensión del río, lago o mar el cual se requiere analizar y comprender.

2.3.7. Código Python

Dysarz (2018) señala que Python es uno de los lenguajes de programación más populares por su simplicidad y las librerías que permiten su uso en diferentes áreas de

aplicación, el cual incluye el modelamiento de flujos mediante uso de algoritmos, con el cual se puede crear scripts de fácil uso.

2.4. Bases epistemológicas o bases filosóficas o bases antropológicas

La epistemología según Ñaupas et al., (2018) “es la rama de la filosofía que se desprendió de la Gnoseología, dedicándose sólo al estudio del conocimiento científico o ciencia” (p. 73). Añade Bernal (2010) que Piaget (1970) clasifica la epistemología como meta científicas, paracientíficas y científicas, siendo esta última la que busca una explicación del conocimiento científico. Moreno (2018) enfatiza que “la ciencia epistemológica está inmersa en el estudio del conocimiento en cuanto al conocimiento científico, es decir, que se puede probar, a través de métodos, técnicas, recursos, procedimientos, hipótesis, variables, entre otras herramientas que se utilizan para verificar dicho conocimiento” (p. 365). Para buscar esta relación científica con el tema abordado tenemos que adentrarnos en sus orígenes los cuales relatan Simons y Şentürk (1992) explicando que la relación entre el hombre y los ríos se remonta desde los inicios de la civilización, afectando en el desarrollo del hombre el cual comenzó a asentarse a lo largo de los ríos y valles fluviales para subsistir. Los estudios en la ciencia del transporte de sedimentos fueron significativos desde la segunda mitad del siglo actual, puesto que inicialmente se enfocaban más en el aspecto del agua, sin embargo, se pueden encontrar referencia de estudios de sedimentos en china de hace unos 4000 A.C. Las muestras del avance del estudio de la hidráulica fluvial se notan en el periodo del renacimiento, en el cual buscaban una solución rápida a los problemas que tenían como la construcción de diques o el abastecimiento de agua y que, para esta mitad del siglo, evoluciona a través de los planteamientos de ecuaciones y métodos computacionales.

Asimismo, Wohl (2010) menciona que los avances en las mediciones de las variables hidráulicas en (Ricoy Lorenzo, 2006) ríos avanzo de forma amplia en estas últimas décadas, Así se describieron la velocidad, el esfuerzo cortante, las resistencias al flujo, las formas de turbulencia, interacciones entre flujo turbulento y los límites de canalizaciones. De esto se desprende que los procesos hidráulicos difieren entre si dependiendo de la forma del canal y extrayendo ecuaciones de predicción para cada uno. Estas distinciones de los tipos de canales: cascada, escalones, lecho plano y de estanque parece proporcionar en la actualidad una forma más eficaz para distinguir los regímenes hidráulicos.

Después de analizar la historia de la evolución de la ciencia en la hidráulica del transporte de sedimentos, analizamos lo mencionado por Guba y Lincoln (1994) que enfoca los paradigmas de investigación científica en positivismo, post positivismo, la teoría crítica y posiciones ideológicas positivas, y el constructivismo. Indica también que el positivismo se rige por leyes y mecanismos naturales, el cual al formular las preguntas e hipótesis estas deben estar sujetas a pruebas de verificación empíricas. Añade también Ricoy (2006) que el “paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico” (p. 14). Revisando estos conceptos nuestro enfoque investigativo realizado es el positivismo, puesto que se busca una relación entre las variables analizadas.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ámbito

El ámbito donde se realizará la investigación es en la cuenca del río Huallaga, en los distritos de San Rafael y Ambo, de la Provincia de Ambo, región de Huánuco, en Perú, el cual tiene una variación de altitudinal entre 2047 y 2735 m.s.n.m. Las zonas evaluadas pertenecen a un río de montaña, por ende, tienen un relieve de pendientes altas y de huaicos en su trayecto. Así mismo las precipitaciones más fuertes se da entre los meses de enero hasta marzo, las coordenadas de ubicación en UTM son: punto inicial de 369970.10E - 8854225.05N y del punto final de 368053.65E - 8881163.83N.

3.2. Población

Según Ñaupas et al. (2018) la población puede ser definida como el conjunto de personas, objetos, conglomerados, hechos o fenómenos con características requeridas para la investigación, en ese sentido la investigación posee una población conformada por la cantidad de sedimentos, que son provenientes del transporte de sedimentos de fondo en el Río Huallaga, en la Provincia de Ambo, en los distritos de San Rafael y Ambo, región de Huánuco en Perú.

3.3. Muestra

La muestra según Bernal (2010) es la “parte de la de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objeto de estudio” (p. 161). Así mismo, Hernández y Mendoza (2018) mencionan que hay dos tipos de muestreo que son el probabilístico y el no probabilístico, siendo el primero que todos los elementos de la población tengan la misma posibilidad de ser escogidos; y el

segundo su elección sea por su relación con las características y contexto de la investigación.

Teniendo en cuenta lo anterior la selección de la muestra será del tipo no probabilístico porque toda la población, conformado por los sedimentos, tienen distintas probabilidades de ser escogidos, la elección para realizar las excavaciones fue determinada por la ubicación cercana a los puentes que hay en el distrito de San Rafael y Ambo, teniendo así de esta forma una excavación aguas arriba y aguas abajo para cada puente, en la cual se extraerán los sedimentos de fondo que son transportados por el Rio Huallaga, la siguiente tabla nos muestra las coordenadas de la ubicación de los pozos de excavación.

Tabla 9

Coordenadas de los pozos excavados en el Rio Huallaga

Coordenada de los Pozos Excavados			
Distrito	Pozo	Este	Norte
San Rafael	Pozo 01	369970.10	8854225.05
	Pozo 02	371317.35	8858290.47
	Pozo 03	369441.55	8878011.93
Ambo	Pozo 04	368053.65	8881163.83

Nota. Elaboración Propia en base a las coordenadas de campo del Proyecto del CITA

3.4. Nivel y tipo de estudio

Como expresa Bernal (2010) existen diferentes tipos de investigación y a su vez que estas no tienen un consenso entre los distintos autores, así para determinarlos es necesario saber cuál se ajusta mejor a la investigación que se va a realizar.

Borja (2016) plantea que se puede clasificar el nivel y tipo de investigación de acuerdo con el fin que se persigue, los tipos de datos analizados y la metodología para demostrar la hipótesis, quedando la investigación presente de la siguiente manera:

- ✓ De acuerdo con el fin que se persigue: Investigación aplicada, porque su interés está en la aplicación inmediata sobre una problemática que se da por el transporte de sedimentos de fondo en el río Huallaga, que suele haber desbordamientos sino hay una limpieza periódica.
- ✓ De acuerdo con los tipos de datos analizados: Es de tipo cuantitativa, porque confía en la medición numérica que en este caso sería la cuantificación de sedimentos de fondo en cada pozo excavado.
- ✓ De acuerdo con la metodología para demostrar la hipótesis: Es correlacional, porque aplica los conocimientos adquiridos y busca establecer un grado de relación existente entre las variables de la cuantificación de sedimentos, con el hidrograma de caudales, la pendiente y las características de los sedimentos de fondo.

Desde el punto de vista de Hernández y Mendoza (2018) una investigación por más que inicie siendo exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa puede contener elementos de diferentes tipos de investigación entre sí e incluso llegar a cambiar a otro tipo de investigación, esto porque al momento de desarrollar se obtienen más datos que puedan enriquecer a la investigación.

3.5. Diseño de la investigación

De acuerdo con Ñaupas et al. (2018) el diseño de investigación es un modelo que nos permite verificar si las respuestas obtenidas corresponden a los problemas de la investigación, esto mediante las variables independientes y dependientes.

De lo planteado por Hernández y Mendoza (2018) los diseños se dividen en experimentales y no experimentales, siendo el primero en el cual se realiza una acción sobre la variable independiente y se observa sus consecuencias, y el segundo en la que

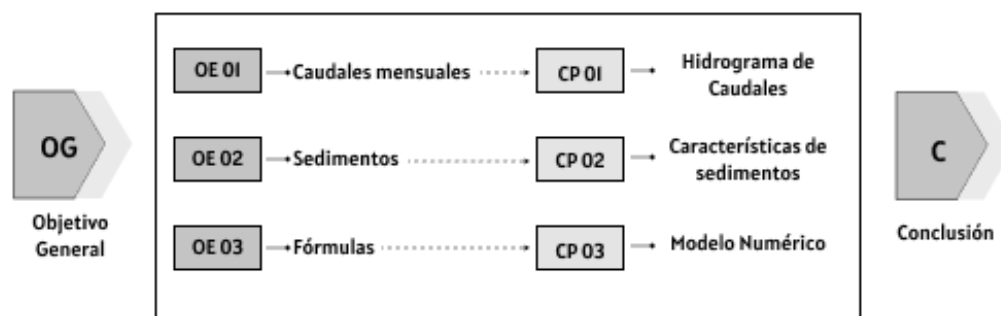
no se manipula deliberadamente la variable independiente, sino se observa o mide tal como se dan en su forma natural. Con estos planteamientos se tiene que la investigación es No Experimental, porque las mediciones se realizaron en el campo sin alterar las variables.

Así mismo Hernández y Mendoza (2018) considera que los diseños no experimentales pueden ser transversales que son exploratorio, descriptivo y correlacional. La correlacional es usada para establecer relaciones entre dos o más variables. De esta manera la investigación realizada es Correlacional siendo la variable dependiente la cuantificación de sedimentos que está relacionada con las variables independientes que son el hidrograma de caudales, las características del sedimento y el modelo numérico.

3.5.1. Esquema

El diseño correlacional para la investigación que se realizó en base a los objetivos específicos y las conclusiones parciales que se tendrá se visualiza de manera grafica en el siguiente esquema:

Figura 11
Esquema de diseño de investigación



Nota. Elaboración Propia

Donde:

- ✓ OG = Objetivo General

- ✓ OE_1, OE_2 y OE_3 = Objetivo específicos
- ✓ CP_1, CP_2 y CP_3 = Conclusiones parciales
- ✓ C = Conclusión

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos

3.6.1. Métodos

Explica Cisneros (2012) que el método es la ruta de procedimientos para poder alcanzar los fines de la investigación y que estos varían de acuerdo con los requerimientos de cada investigación. Entre los métodos más aceptados se encuentra el método cuantitativo que se interesa en explicar, controlar y predecir a través de datos estadísticos. Como esta investigación usa datos de medición en campo, así como los recopilados se utilizó un método cuantitativo para su desarrollo.

Así mismo Baena (2017) argumenta que “el método no basta, se requieren procedimientos que lo hagan operativo, este es el papel de las técnicas e instrumentos que permitan la parte operativa” (p. 67). Por esta razón primero se definió las técnicas e instrumentos y con ello se realizó un diagrama de flujo que se detalla y visualiza en el ítem 3.8 “Procedimiento”.

3.6.2. Técnicas

De acuerdo con Baena (2017) “se vuelven respuestas al cómo hacer y permite la aplicación del método en el ámbito donde se aplica” (p. 68). Arroyo (2020) plantea que las técnicas de investigación pueden ser clasificadas por su aplicación durante la ejecución de la investigación, las cuales son: recopilación de datos, tabulación y codificación de datos, análisis e interpretación de datos, evaluación y proyección o pronóstico de datos. Con este planteamiento las técnicas que se usaron fueron las siguientes:

- a) Técnicas de recopilación de datos: En la primera parte se hizo de forma documentaria, la cual se basó en la búsqueda de estudios antecedentes en la zona de estudio para tener una comparativa posterior, luego se realizó la extracción de datos de ANA, SENAMHI el cual consistió en datos hidro meteorológicos, niveles y granulométricos. En la segunda parte se extrajo la información de campo, con los ensayos realizados por el CITA-UTEC, el cual consistió en levantamiento topográfico, medición de caudales y extracción de sedimentos de fondo.
- b) Técnicas de tabulación y codificación de datos: Los datos extraídos en la recopilación de datos, documentaria y de campo, fueron archivadas y renombradas con una codificación de acuerdo con el objetivo que pertenecían, posterior a ello en una Hoja de Cálculo de Excel se realizó la tabulación de los datos obtenidos en tablas que permiten un mejor entendimiento.
- c) Técnicas de análisis e interpretación de datos: Se realizó en base a la matriz de consistencia, con el cual se procesó los datos iniciales: primero, se visualizó las variables y se analizó descriptivamente; segundo, se evaluó su confiabilidad y validez de los datos que se obtuvieron; tercero, se realizó el análisis y procedimiento de la data obtenida contrastando con las hipótesis planteadas inicialmente; cuarto, se realizó la presentación de los resultados obtenidos en tablas y figuras.
- d) Técnicas de evaluación: En esta se realiza la evaluación de los datos obtenidos teniendo así las conclusiones de la investigación.
- e) Técnicas de proyección o pronóstico de datos: Se determinó las proyecciones que puede tener el modelo para la cuantificación del transporte de sedimentos de fondo.

3.6.3. Instrumentos

Según Ñaupas et al. (2018) “son las herramientas conceptuales o materiales, mediante los cuales se recoge los datos e informaciones, mediante preguntas, ítems que exigen respuestas del investigado” (p. 273). Así los instrumentos que se usó para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos en campo se detallan de la siguiente manera:

Para el estudio de campo realizado por parte del CITA UTEC se utilizó los siguientes instrumentos:

- ✓ GPS Diferencial + RTK
- ✓ Posicionador AtlasLink
- ✓ Correntómetro

Para el procesamiento en gabinete se utilizó los siguientes programas de acuerdo con lo que se necesitaba calcular:

- ✓ Perspective Image Correction: Corrección angular de Fotografías
- ✓ Adobe Photoshop: Editor y procesador de Fotografías
- ✓ BASEGRAIN: Software de análisis de distribución granulométrica mediante el método superficial tomando fotografías.
- ✓ GRADISTAT: Software para la clasificación granulométrica de los sedimentos analizados.
- ✓ Google Earth Pro: Sistema de información geográfica para referenciar la ubicación del proyecto en investigación.
- ✓ QGIS: Procesador de archivos en formato SHP, con el cual se evaluó los levantamientos topográficos realizados en campo.
- ✓ ArcGIS: Procesador de archivos SHP y mapas de identificación

- ✓ Hojas de Cálculo en Excel: Procesador y programador de datos numéricos
- ✓ Spyder: IDE para lenguaje de programación de Python
- ✓ Microsoft Word: Procesador de Texto

3.7. Validación y Confiabilidad de Instrumentos

3.7.1. Validación

Como expresa Bernal (2010) la validez de un instrumento es fiable cuando mide y representa lo que es de interés para la investigación (pp. 247-248). Adicional a esto Espinoza (2014) argumenta que, para determinar la validez de contenido, criterio y constructo, se puede realizar mediante un análisis de factores, comparando los ítems y el juicio de expertos (p. 149). Para la investigación que se realizó se contó con los especialistas de la CITA UTEC quienes dieron la validez de los procedimientos, así como estuvieron a cargo de los ensayos realizados para la extracción de datos.

3.7.2. Confiabilidad

Arroyo (2020) expresa que la “confiabilidad es entendida como el grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales” (p. 276). Por otro lado, Aiken (2003) menciona que el coeficiente de confiabilidad de Cronbach (1951) se define con los parámetros: k es el número de los instrumentos, s_t^2 es la suma de la varianza de los instrumentos totales y s_i^2 la varianza de los instrumentos, quedando la formula definida:

$$\alpha = \frac{k(1 - \sum s_i^2 / s_t^2)}{k - 1}$$

Tabla 10

Tabla de Kuder Richardson para coeficientes de confiabilidad

Rango	Calificación
< 0.53	nula

0.54 - 0.59	baja
0.60 - 0.65	confiable
0.66 - 0.71	muy confiable
0.72 - 0.99	excelente
> 1.00	perfecta

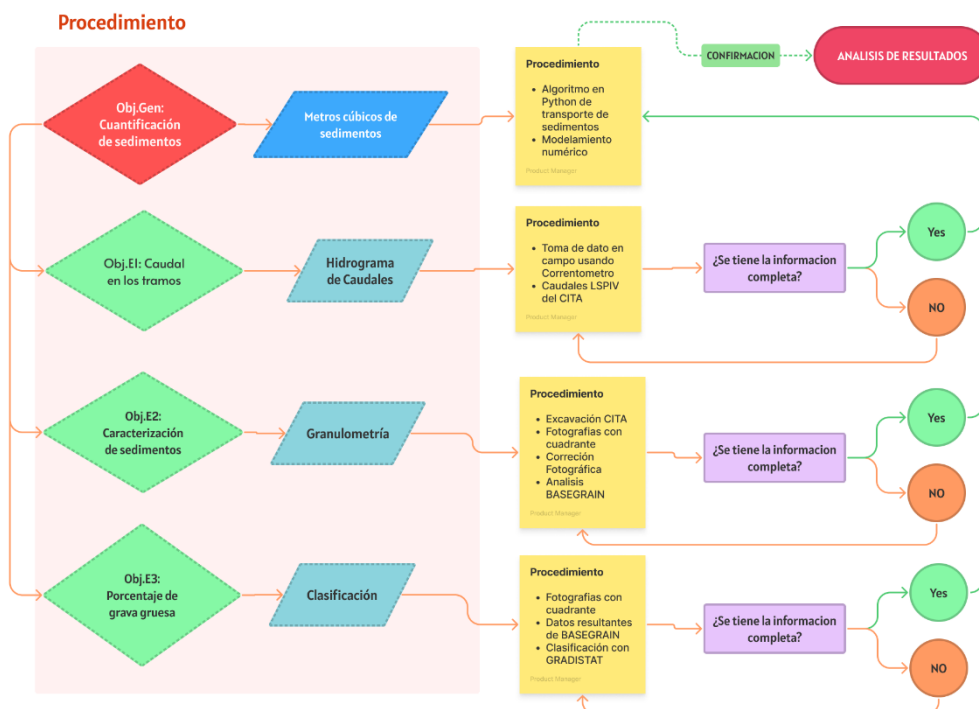
Nota. Adaptado de Confiabilidad (p. 279), Naupas et al., 2018.

La confiabilidad de los instrumentos usados durante el procedimiento en campo fue revisado y autorizado para su uso por la CITA UTEC antes de ser traídos a campo, como son instrumentos de medición de campo tanto para el levantamiento topográfico como el hidráulico necesitan tener una calibración con una confiabilidad mayor de 0.90, para que al momento de su uso no genere datos erróneos, por ende, la confiabilidad de los instrumentos que se usaron en la investigación cumple con lo requerido.

3.8. Procedimiento

El procedimiento llevado a cabo se muestra en el diagrama de flujo siguiente:

Figura 12
Diagrama de flujo de trabajo



Nota. Se muestra la metodología en un diagrama de flujo utilizada. Elaboración Propia.

3.8.1. Área y estudio de Campo

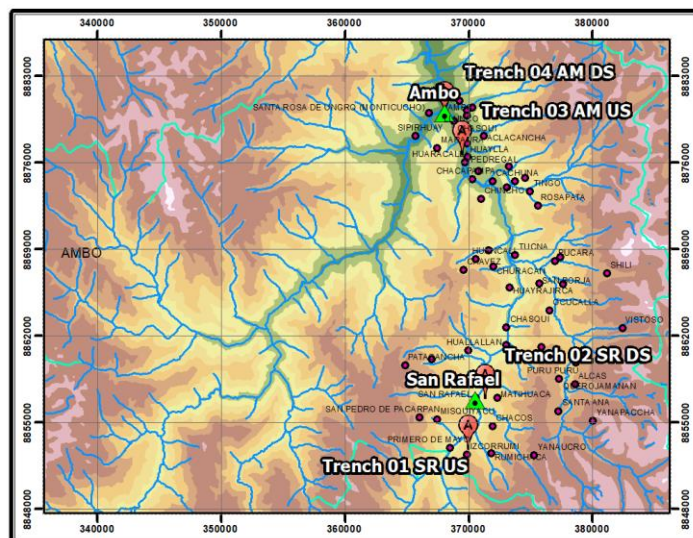
El estudio de campo se realizó en campañas durante el proyecto de investigación realizado por parte de la unidad investigadora del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) en el Río Amazonas, el cual estudia el impacto que tendrá la Hidro vía Amazónica. El río Huallaga, es uno de los afluentes del río Amazonas, y para esta investigación solo se hará uso de los datos obtenidos en los tramos ubicados en los Distritos de San Rafael y Ambo, perteneciente a la Provincia de Ambo, Región Huánuco, para lo cual se ha pedido la autorización de su uso durante esta investigación. En las campañas se realizó ensayos y se estableció puntos de control, siendo la unidad investigadora del CITA UTEC los cuales lo propusieron la metodología y la ejecución de los diversos ensayos, los cuales se recopila y expone en esta investigación.

3.8.1.1. Área de Investigación

El área donde se realizó la investigación es en San Rafael y Ambo, se muestra en la siguiente figura de forma general, en el Anexo I se visualiza con más detalle.

Figura 13

Ubicación general de los puntos de control



Nota. Datos creados en ArcGIS en base a los SHP del INGEMMET. Elaboración Propia.

3.8.2. Hidrograma de caudales

Para el procesamiento de las mediciones de los caudales del río Huallaga se realizó lo siguiente: (i) Determinación de los caudales usando un correntómetro en la ubicación de las trampas de fondo, (ii) la extracción de datos de caudales obtenidos mediante el método del LSPIV desarrollado por el CITA y (iii) análisis y comparación de los caudales obtenidos.

3.8.2.1. Medición del caudal con correntómetro

La medición de caudal con correntómetro se realizó de acuerdo con el siguiente procedimiento definido por la unidad investigadora del CITA en cada ubicación de las trampas de carga de fondo el río Huallaga, del tramo correspondiente a San Rafael y Ambo, esto consistió en: (i) delimitación de distancias a 1 metro en una cuerda que estará de un extremo a otro del ancho del río, (ii) con el correntómetro se procede a calcular el tirante y la velocidad en toda la sección transversal del río, (iii) haciendo uso de una Hoja Excel y el método del trapecio, que relaciona la velocidad y el área, se determina el caudal del río Huallaga para ese instante en el tiempo.

Figura 14

Medición del caudal con correntómetro en el río Huallaga

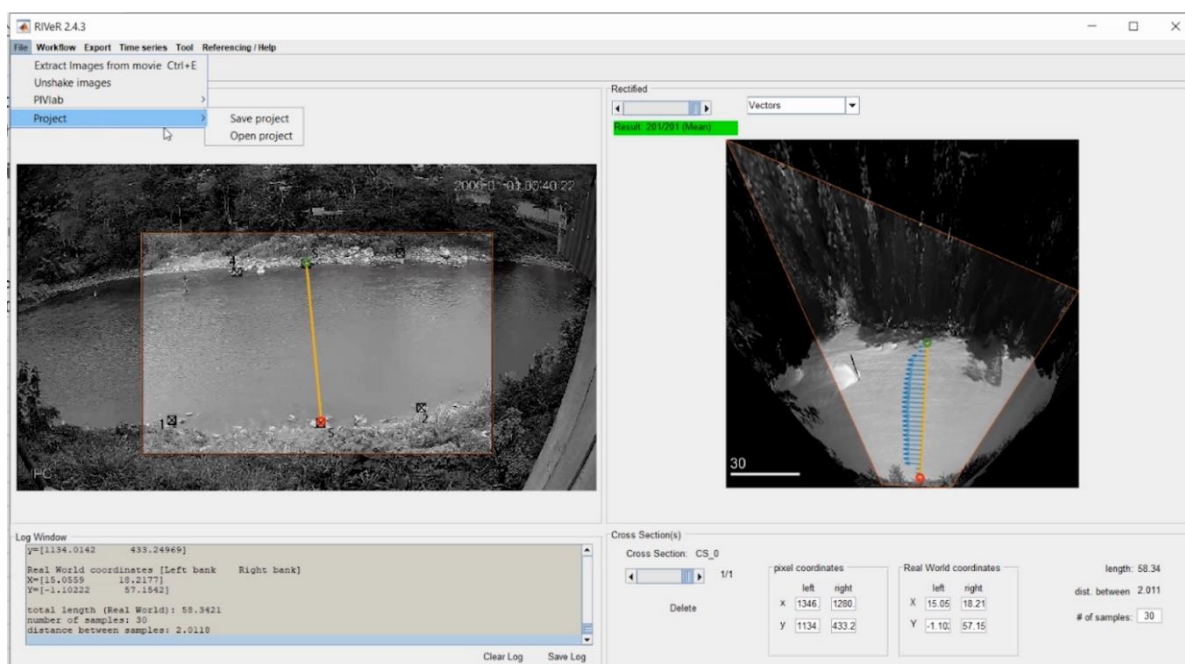


Nota. Se muestra la medición de caudal con correntómetro en la sección transversal del río Huallaga (05/11/2020). Fotografías tomadas en el desarrollo de la investigación de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

3.8.2.2. Hidrograma de caudales con el método del LSPIV

Asimismo, la unidad investigadora del CITA ha estado recopilando información de los caudales del río Huallaga mediante el método del LSPIV que consiste: (i) delimitar el área a ser grabado, (ii) delimitar puntos de control con sus coordenadas y altura correspondiente en ambos extremos de la ribera del río, (iii) grabar el flujo superficial del río en el área delimitada, (iv) los datos a evaluar se procesan de acuerdo a un criterio del tiempo de grabado, así como la duración de la grabación del video, (v) se procede a realizar el cálculo del caudal mediante el software de RIVeR, el cual relaciona el flujo mediante vectores teniendo así una velocidad, el área y el nivel de altura del río respecto a los puntos de control y (vi) se procede a tabular y graficar los datos obtenidos. Se solicitó el acceso de esta información a la unidad investigadora del CITA, para poder utilizarlos en esta investigación, debido a tener solo datos puntuales de las campañas realizadas entre 2019 y 2020 con el correntómetro.

Figura 15
Medición de caudal con LSPIV



Nota. Se muestra una imagen del procesamiento en RIVeR para el método LSPIV (10/02/2020). Imágenes parte de la investigación de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

3.8.3. Distribución Granulométrica

Para el análisis de la distribución granulométrica de los sedimentos del lecho de río se realizó el siguiente procedimiento: (i) muestreo superficial de los sedimentos con un marco de dimensiones conocidas y fotografías; (ii) orto rectificación de las fotografías usando el software Perspective Image Correction; (iii) corrección y contorneado digital de los sedimentos usando Photoshop; (iv) procesamiento de las fotografías en BASEGRAIN y (v) procesamiento de clasificación en GRADISTAT.

3.8.3.1. Muestreo de superficial de la carga de lecho

El muestreo superficial de los sedimentos de la carga de lecho del río se dio con los sedimentos extraídos durante la excavación de las trampas de fondo que consistió en: (i) posicionar el marco metálico de 1mx1m en el área de interés y (ii) la toma fotográfica de los sedimentos que están dentro del marco metálico, los cuales fueron tomados en San Rafael y Ambo, aguas arriba y abajo respectivamente para cada uno. La fotografía se muestra a continuación:

Figura 16

Muestreo de sedimentos superficiales en Ambo



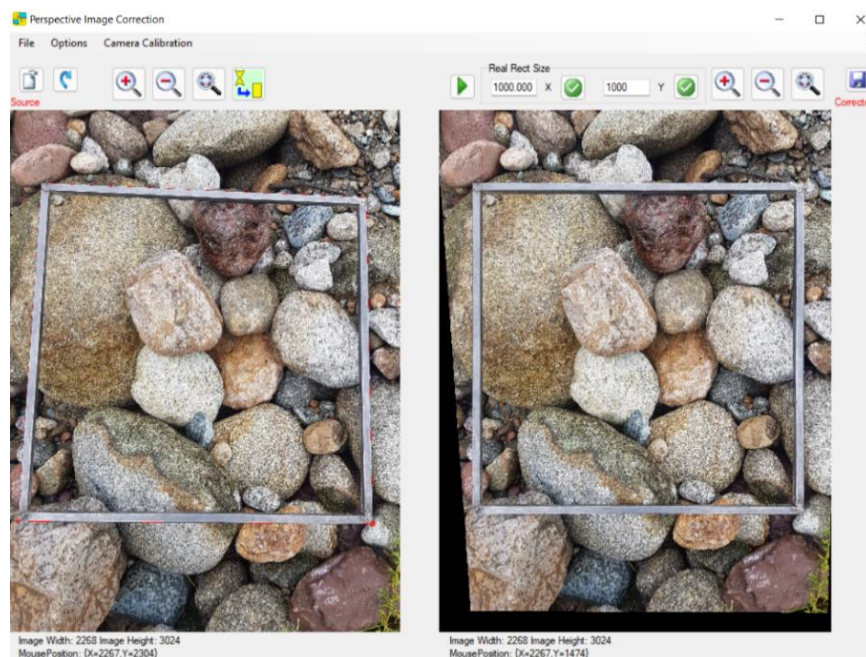
Nota. Muestreo de Ambo Muestreo superficial de la carga de lecho del río Huallaga, en la derecha muestreo de San Rafael y en la izquierda de Ambo. Fotografías tomadas por parte de la investigación de la CITA (15/10/2019). Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

3.8.3.2. Orto rectificación de las fotografías

Las fotografías tomadas para un muestreo superficial deben ser verticales para el procesamiento digital por ello el procedimiento a seguir consistió en: (i) codificar las fotografías y dimensiones del marco, y (ii) usar el software de Perspective Image Correction para orto rectificar la fotografía. El resultado obtenido se muestra a continuación en la figura:

Figura 17

Orto rectificación de la fotografía de los sedimentos



Nota. A la izquierda la foto tomada en campo y a la derecha la fotografía orto rectificada. Elaboración Propia usando el software de Perspective Image Correction. Fotografías tomadas por parte de la investigación de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

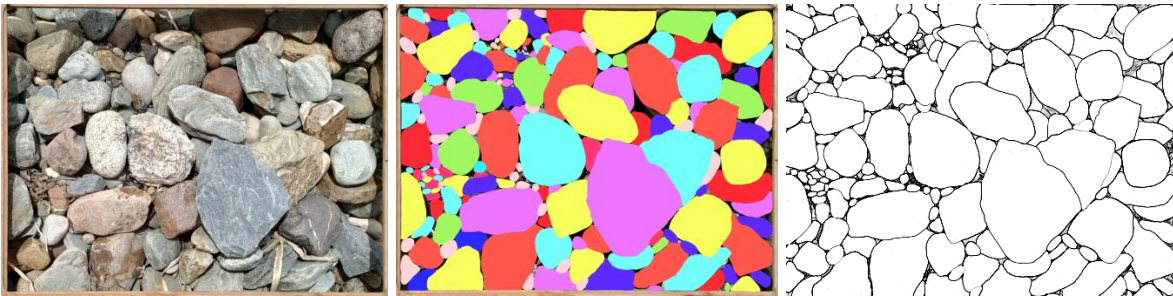
3.8.3.3. Corrección de imágenes

Las correcciones de imágenes del muestreo superficial se dieron para optimizar el procesamiento de la detección de los tamaños de los sedimentos para su distribución granulométrica en el software de BASEGRAIN, esto por las recomendaciones dadas anteriormente por Naito (2021), para lo cual se decidió usar Photoshop el proceso seguido fue de: (i) abrir las imágenes en Photoshop y crear capas de trabajo, (ii) seleccionar los granos y delimitarlos por áreas de colores diferentes entre sí para poder

separarlos, (iii) se convirtió las áreas de colores a un formato blanco y negro, (iv) se corrige los bordes de los sedimentos no reconocidos o con problemas de visualización y (v) se procede a guardar las nuevas imágenes procesadas codificadas.

Figura 18

Corrección de las imágenes



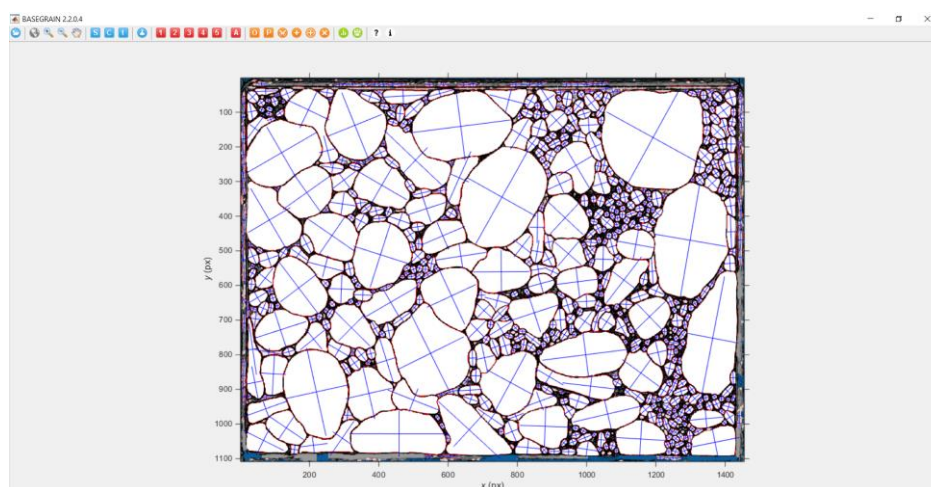
Nota. Se muestra la imagen original de los sedimentos, luego el procesamiento en áreas de colores y después su conversión a contornos en blanco y negro. Elaboración Propia.

3.8.3.4. Procesamiento con BASEGRAIN

Para el procedimiento en BASEGRAIN se realizó lo siguiente: (i) insertar la imagen y la escala conocida, (ii) se selecciona y corta el área a procesar, (iii) se analiza los cinco procesos para la detección de las partículas, (iv) se procede a realizar el análisis de detección de partículas, (v) se adiciona o elimina partículas detectadas de ser necesaria, y (vi) se extrae los datos de distribución granulométrica resultantes.

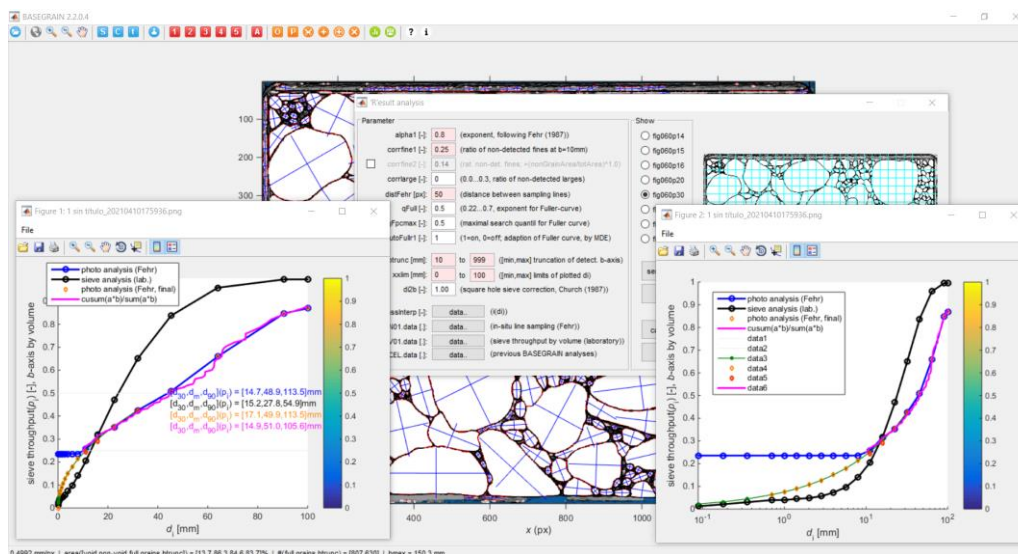
Figura 19

Detección de sedimentos con BASEGRAIN



Nota. Se muestra la detección de los ejes de los sedimentos usando BASEGRAIN en las imágenes corregidas anteriormente. Elaboración Propia.

Figura 20
Distribución granulométrica con BASEGRAIN

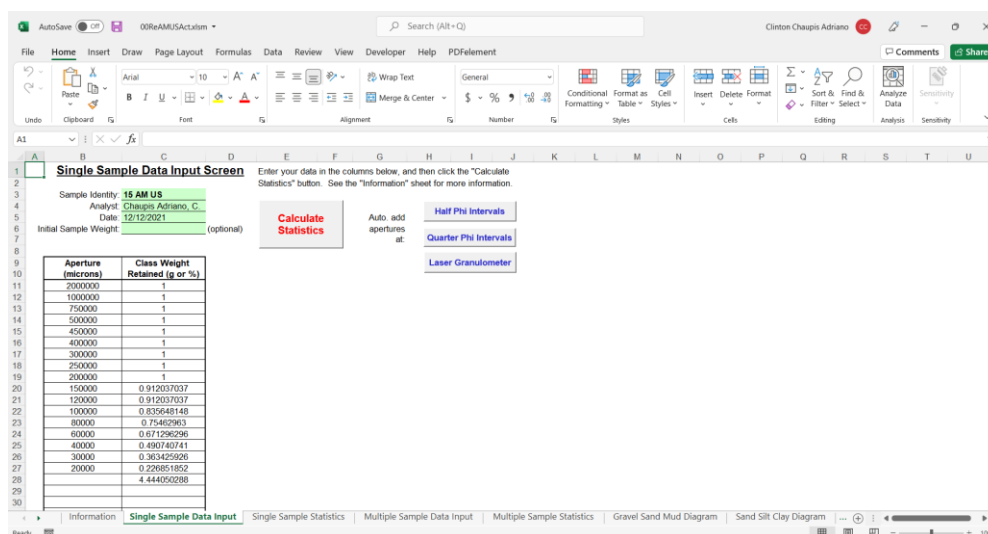


Nota. Se muestra los resultados de distribución granulométrica obtenidos usando BASEGRAIN en las imágenes corregidas anteriormente. Elaboración Propia.

3.8.4. Clasificación en porcentajes de los sedimentos

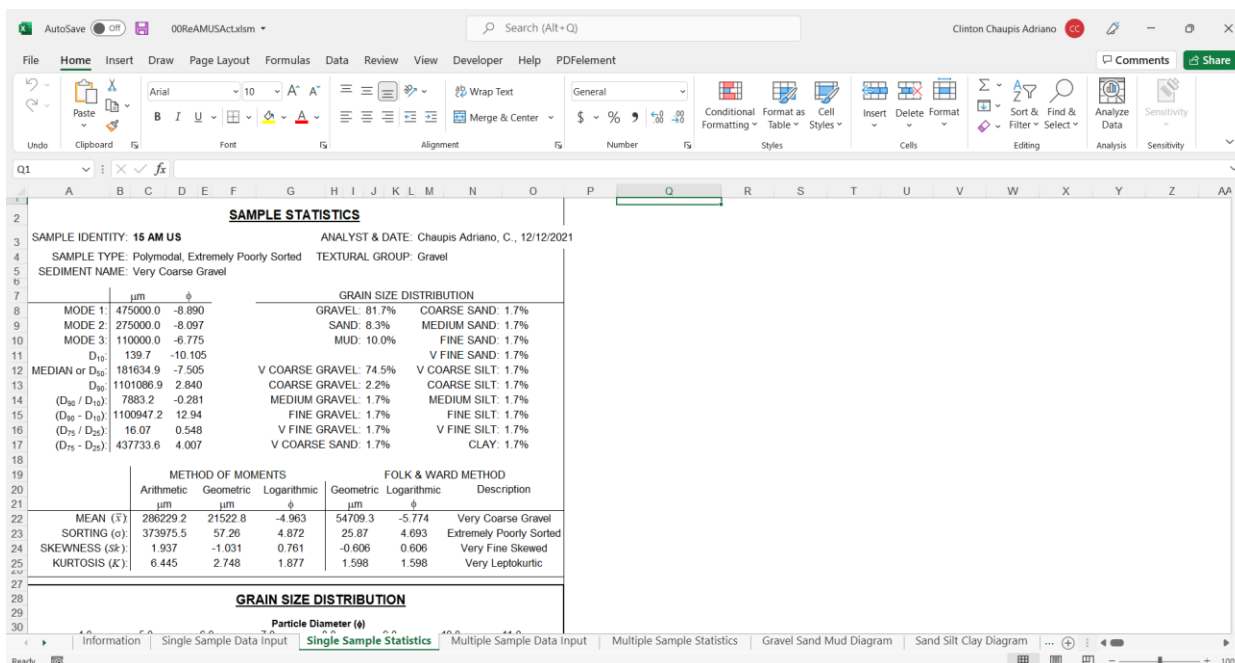
El procedimiento para determinar los porcentajes fue en el software de GRADISTAT consistió en: (i) se inserta los datos obtenidos de phi obtenidos en BASEGRAIN y (ii) se procede a realizar el cálculo estadístico de la clasificación de los sedimentos.

Figura 21
Introducción de datos en GRADISTAT



Nota. Introducción de datos de phi de las muestras de los sedimentos para realizar la clasificación usando GRADISTAT. Elaboración realizada en GRADISTAT

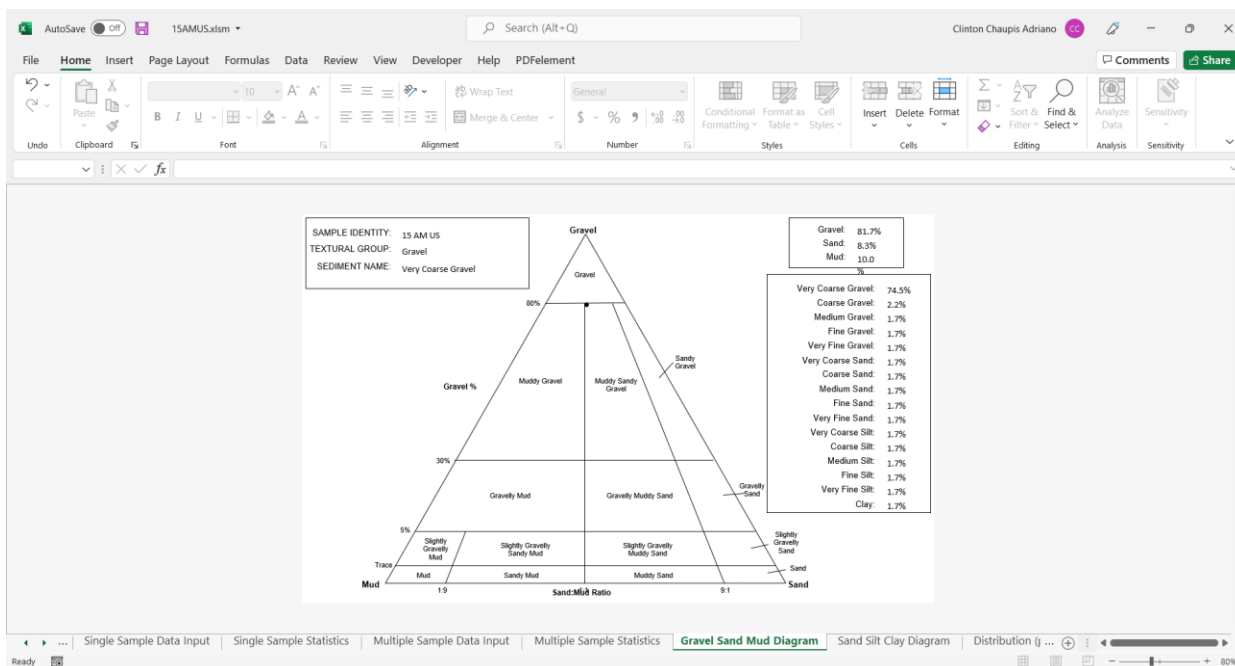
Figura 22
Resultado individual del análisis en GRADISTAT



Nota. Resultados individuales de una muestra analizada usando el software de GRADISTAT, con esta referencia se procesó todas las muestras superficiales. Elaboración en GRADISTAT.

El proceso se repitió para las muestras de San Rafael y Ambo, teniendo así las clasificaciones de los sedimentos para cada área de interés.

Figura 23
Resultado de clasificación de una muestra en GRADISTAT



Nota. Se muestra la clasificación de una muestra superficial de Ambo aguas arriba en el método grafico para sedimentos. Elaboración en GRADISTAT.

3.8.5. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo

El procedimiento para la determinación de la cantidad del transporte de sedimentos de fondo fue la siguiente: (i) determinar el perfil longitudinal del lecho del río Huallaga en las trampas de fondo y (ii) la modelación numérica.

3.8.5.1. Perfil longitudinal de las trampas de fondo

Para determinar el perfil longitudinal del lecho del río en las trampas de fondo se procedió a realizar lo determinado por la unidad investigadora del CITA, el cual usando su equipamiento procedió a realizar lo siguiente: (i) la excavación de las trampas de fondo en el lecho del río Huallaga, (ii) la instalación del equipo para el levantamiento topográfico y (iii) la toma de datos de los niveles con el GPS diferencial con RTK. Las excavaciones de las trampas de carga de lecho de fondo fueron realizadas para los distritos de San Rafael y Ambo. Se realizó un ensayo aguas arriba y abajo de las ciudades, aproximadamente 2km en ambos extremos. El fin de este alejamiento de era la de obtener datos más cercanos a lo natural, esto fue definido y realizado por la unidad investigadora del CITA – UTEC. El procedimiento de los ensayos consistió en: (i) excavación del lecho del río, (ii) levantamiento topográfico de la trampa de fondo y (iii) realizar un modelo digital con los datos obtenidos, esto se realizó para cada ubicación.

Figura 24

Excavación de las trampas de fondo en el río Huallaga

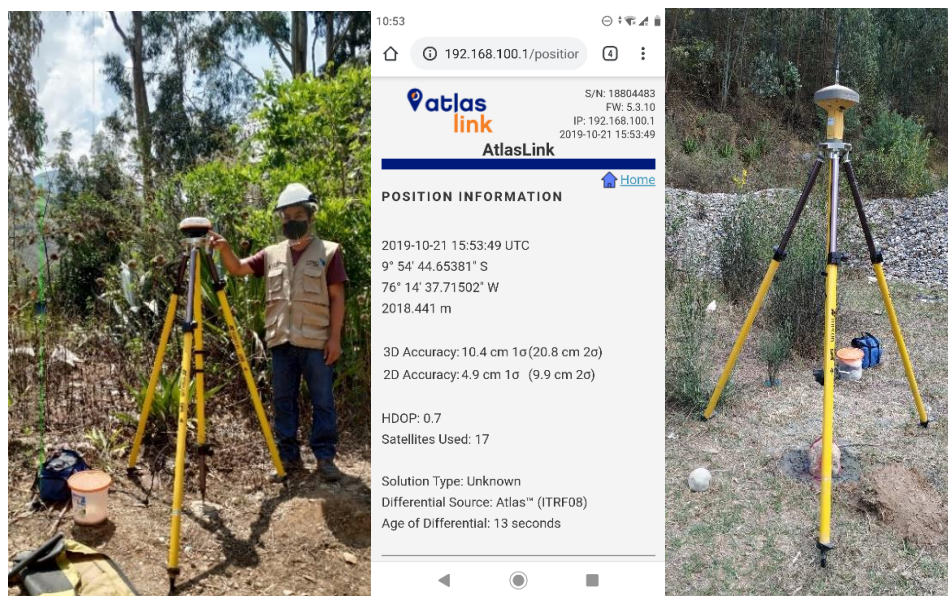


Nota. Se muestra el proceso de excavación usando maquinaria. Fotografía tomada en el desarrollo de la investigación de la CITA (15/11/2019). Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

Para realizar la instalación del equipamiento para el levantamiento topográfico se procedió a: (i) realizar un monumento del punto BM en cada punto de control, (ii) realizar la toma de coordenadas del punto base con un posicionador AtlasLink, el cual es un equipo con capacidad para recibir señales de corrección de la posición en coordenadas geodésicas y (iv) la toma de datos con el GPS diferencial con RTK.

Figura 25

Estacionamiento del punto base con AtlasLink



Nota. En la izquierda el posicionador AtlasLink, en el centro los datos en coordenadas con un 2D accuracy de 9.9 cm y en la derecha el GPS diferencial con RTK posicionado para tomar los puntos topográficos. Fotografía tomada en el desarrollo de la investigación de la CITA-UTEC (05/11/2020). Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Figura 26

Levantamiento topográfico de las trampas de carga de fondo



Nota. Se muestra el proceso de levantamiento topográfico de las trampas de carga de fondo con el Rover del GPS Diferencial. Fotografía tomada en el desarrollo de la investigación de la CITA (05/11/2020). Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

El procedimiento de la medición de la pendiente de río se realizó siguiendo el procedimiento definido por el CITA, que consistió en: (i) Determinar un punto BM, (ii) instalar el posicionador global AtlasLink, (iii) instalar el GPS diferencial con RTK en el punto base con las coordenadas del lugar obtenido del AtlasLink, (iv) se inicia el recorrido desde la parte alta, tomando puntos en el nivel del río y (v) se realiza un tratamiento de los datos obtenidos en QGIS y Hojas de Excel para obtener el valor de la pendiente.

Figura 27

Medición de la pendiente



Nota. Se muestra la medición de la pendiente en el río Huallaga. Fotografías tomadas en el desarrollo de la investigación de la CITA (05/11/2020). Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

Los datos obtenidos de la topografía de las trampas de fondo y la pendiente del río se extrajeron en formato CSV, el cual contiene los puntos en coordenadas geodésicas como su altura respecto al mar. Estos datos se procesaron en el software de QGIS, con lo cual se interpoló y trianguló los puntos para obtener una curva de nivel y luego se procesó los datos convirtiendo las curvas a un formato Shape (SHP), obteniendo así un formato digital DEM.

3.8.5.2. Modelación numérica

Para la modelación numérica de la cantidad de transporte de sedimentos de fondo se realizó lo siguiente: (i) calcular el tirante del perfil longitudinal del lecho del río Huallaga en las trampas de fondo, (ii) hidrograma de caudales LSPIV en el río Huallaga

para un año, (iii) características del diámetro nominal D50 de los sedimentos en cada trampa de fondo, (iv) las ecuaciones diferenciales discretizadas formuladas por Parker (2004), (v) convertir las ecuaciones en algoritmo en Python, (vi) calcular la cantidad de transporte de sedimentos de fondo para las cuatro áreas de interés en la investigación, (viii) se procede a verificar si el volumen inicial excavado en las trampas de fondo son llenados con los datos resultantes en el proceso del modelamiento y (viii) se analiza los resultados obtenidos después del cálculo realizado para las áreas de interés.

Figura 28
Algoritmo para la cuantificación de transporte de sedimentos de fondo

```

4
5 #author: Acer
6 ***
7
8 ## Calculo de aggradacion y degradacion con Hidrograma
9 ## *Aggradation and degradation calculation with hydrograph
10
11 ##? Import modules // Importar modulos
12 import pandas as pd
13 import numpy as np
14 from openpyxl import Workbook, load_workbook
15 from pandas import ExcelWriter
16
17 excel_name = 'HydFlowEndSRUS.xlsx'
18
19 ##? We load the excel sheet we are going to work with // Cargamos la hoja excel con la cual
20 wb = load_workbook(filename = excel_name)
21 # Extract data using openpyxl // Extraer datos mediante openpyxl
22 sheet = wb['Data']
23
24 ##? Declaration of variables // Declaracion de variables
25
26 #I 01 Assumed Parameters // Parametros asumidos
27 L = sheet['C27'].value # Length of range =
28 B = sheet['C8'].value # Channel width =
29 D = sheet['C9'].value # Grain size mm (D10, D50, D90)
30 kc = sheet['C10'].value # Roughness Height
31 Sa = sheet['C11'].value # Initial Slope Sfbi
32 g = 9.81 # Gravity
33 timeyear = 31557600 # Seconds in a year
34 etadl = 0 # Elevacion del lecho en el extremo aguas abajo, =
35
36 atrans = 0.5 # Coefficient of material transferred to the substrate as the bed aggradates
37 timeday = 86400 # Seconds in a day
38
39 #I 02 Print values for each iteration // Valores de impresion por cada iteracion
40 N = sheet['C24'].value # 10 - no. of intervals // Numero de intervalos a iterar *Año = 36
41 Ncycprint = sheet['C22'].value # 200 - no. of hydrograph cycles until a printout of results
42 Mprint = sheet['C23'].value # 6 - no. of printouts after the initial one
43 To = 365 # Time to show the graph // Tiempo en días de iterar

```

Name	Type	Size	Value
nk	int	1	2
nt	float	1	1.5
qt	Array of float64	(501)	[0. 0. 0. ... 0. 0. 0.]
Rr	float	1	1.65
Sa	float	1	0.0074
sheet	worksheet.worksheet.Worksheet	1	Worksheet object of openpyxl.worksheet.worksheet module
Sli	Array of float64	(501)	[0. 0. 0. ... 0. 0. 0.]
tausc	float	1	0.047
taux	Array of float64	(501)	[0. 0. 0. ... 0. 0. 0.]

```

... # I05 Auxiliary Parameters // Parametros Auxiliares
... alr = sheet['J27'].value # Coefficient in the Manning-Strickler resistance ratio
... alt = sheet['J28'].value # Coefficient in sediment transport ratio
... nt = sheet['J29'].value # Sediment transport ratio exponent
... tausc = sheet['J10'].value # Shields Critical Stress
... fis = sheet['J11'].value # Fraction of bed shear stress that is skin friction.
... Rr = sheet['J12'].value # Submerged specific gravity of sediment
... lps = sheet['J16'].value # Bed Porosity
... au = sheet['J15'].value # Upwind coefficient for spatially derived loads in Exner's equation
(value 0.5 suggested)
... nk = 2 # Factor por el que se multiplica la superficie D90 para obtener la altura de
rugosidad 'ks'
... na = 2 # Factor por que se multiplica la superficie D90 para obtener la capa activa 'La'
... dt = sheet['C27'].value # Calculation of time evolution toward this ultimate state
In [2]:

```

Nota. Algoritmo realizado en Python en base a las ecuaciones diferenciales discretizadas del transporte de sedimentos de fondo de Parker (2004). Elaborado en Spyder – Python.

3.9. Tabulación y Análisis de Datos

La tabulación y análisis de datos se dio realizando: (i) tratamiento de datos atípicos, (ii) análisis estadístico, (iii) confiabilidad de resultados y (iv) distribución muestral, los cuales se muestran en los siguientes ítems.

3.9.1. Tratamiento de datos atípicos

El tratamiento y evaluación de los datos atípicos de los datos obtenidos se realizó mediante el método de caja y bigotes.

3.9.1.1. Hidrograma de caudales

Se muestra el tratamiento de datos atípicos en los caudales medidos con correntómetro para la zona de San Rafael y Ambo.

Tabla 11

Valores atípicos de caudales en San Rafael

Código	Descripción	Caudal (m3/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	1.14	-1.04	6.60	NO ATÍPICO
2	San Rafael	3.71	-1.04	6.60	NO ATÍPICO
3	San Rafael	1.37	-1.04	6.60	NO ATÍPICO
4	San Rafael	3.86	-1.04	6.60	NO ATÍPICO
5	San Rafael	3.74	-1.04	6.60	NO ATÍPICO
6	San Rafael	3.18	-1.04	6.60	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones en campo del caudal del río la realizado por la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Tabla 12

Valores atípicos de caudales en Ambo

Código	Descripción	Caudal (m3/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	6.29	2.72	12.23	NO ATÍPICO
2	Ambo	5.69	2.72	12.23	NO ATÍPICO
3	Ambo	8.66	2.72	12.23	NO ATÍPICO
4	Ambo	6.44	2.72	12.23	NO ATÍPICO
5	Ambo	12.87	2.72	12.23	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones en campo del caudal del río la realizado por la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Así mismo los datos de caudales obtenidos por el método LSPIV entre los años 2019 y 2020 en la zona de San Rafael y Ambo se procesó para el tratamiento de datos atípicos lo cual se visualiza en las siguientes tablas.

Tabla 13
Valores atípicos de caudales LSPIV en San Rafael

Código	Descripción	Caudal (m3/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	1.8	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
2	San Rafael	1.39	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
3	San Rafael	0.67	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
4	San Rafael	0.65	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
5	San Rafael	1.17	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
6	San Rafael	0.14	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
7	San Rafael	13.08	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
8	San Rafael	12.33	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
9	San Rafael	13.78	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
10	San Rafael	19.28	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
11	San Rafael	15.64	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
12	San Rafael	21.59	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
13	San Rafael	35.33	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
14	San Rafael	27.73	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
15	San Rafael	44.96	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
16	San Rafael	37.7	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
17	San Rafael	46.14	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
18	San Rafael	18.85	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
19	San Rafael	45.73	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
20	San Rafael	39.9	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
21	San Rafael	20.95	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
22	San Rafael	25.91	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
23	San Rafael	29.85	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
24	San Rafael	18.75	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
25	San Rafael	11.25	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
26	San Rafael	17.97	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
27	San Rafael	0.61	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
28	San Rafael	0.34	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
29	San Rafael	0.51	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
30	San Rafael	0.75	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
31	San Rafael	0.58	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
32	San Rafael	0.22	-30.42	52.54	NO ATÍPICO

33	San Rafael	0.44	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
34	San Rafael	0.43	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
35	San Rafael	1.19	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
36	San Rafael	1.66	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
37	San Rafael	1.21	-30.42	52.54	NO ATÍPICO
38	San Rafael	0.94	-30.42	52.54	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones en campo del caudal del río la realizado por la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Tabla 14
Valores atípicos de caudales LSPIV en San Rafael

Código	Descripción	Caudal (m3/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	1.31	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
2	Ambo	1.39	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
3	Ambo	0.73	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
4	Ambo	2.03	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
5	Ambo	1.38	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
6	Ambo	1.32	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
7	Ambo	1.7	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
8	Ambo	0.46	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
9	Ambo	2.4	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
10	Ambo	0.12	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
11	Ambo	10.52	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
12	Ambo	17.44	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
13	Ambo	12.96	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
14	Ambo	25.29	-10.92	24.38	ATÍPICO
15	Ambo	39.16	-10.92	24.38	ATÍPICO
16	Ambo	10.1	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
17	Ambo	13.88	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
18	Ambo	4.27	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
19	Ambo	6.94	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
20	Ambo	3.86	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
21	Ambo	3.99	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
22	Ambo	8.51	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
23	Ambo	6.73	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
24	Ambo	11.2	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
25	Ambo	5.72	-10.92	24.38	NO ATÍPICO

26	Ambo	5.01	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
27	Ambo	17.06	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
28	Ambo	23.67	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
29	Ambo	17.66	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
30	Ambo	12.95	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
31	Ambo	6.32	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
32	Ambo	7.23	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
33	Ambo	4.06	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
34	Ambo	3.19	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
35	Ambo	4.45	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
36	Ambo	11.09	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
37	Ambo	15.41	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
38	Ambo	5.58	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
39	Ambo	3.78	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
40	Ambo	3.79	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
41	Ambo	17.18	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
42	Ambo	12.94	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
43	Ambo	13.93	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
44	Ambo	12	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
45	Ambo	9.78	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
46	Ambo	8.47	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
47	Ambo	6.67	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
48	Ambo	3.97	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
49	Ambo	5.98	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
50	Ambo	2.76	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
51	Ambo	2.24	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
52	Ambo	2.2	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
53	Ambo	1.3	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
54	Ambo	1.35	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
55	Ambo	2.83	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
56	Ambo	5.83	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
57	Ambo	2.56	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
58	Ambo	1.75	-10.92	24.38	NO ATÍPICO
59	Ambo	1.46	-10.92	24.38	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones en campo del caudal del río la realizado por la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

3.9.1.2. Distribución granulométrica

Se muestra el tratamiento de los datos atípicos en la distribución granulométrica, en esta primera parte se analiza los diámetros nominales D10, D50 y D90 que resultaron de los ensayos realizados en campo mediante el método aéreo superficial. El análisis para el diámetro nominal D10 se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 15
Valores atípicos de D10 en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	D10 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	1.77	0.78	3.41	NO ATÍPICO
2	San Rafael	1.55	0.78	3.41	NO ATÍPICO
3	San Rafael	1.70	0.78	3.41	NO ATÍPICO
4	San Rafael	1.73	0.78	3.41	NO ATÍPICO
5	San Rafael	2.12	0.78	3.41	NO ATÍPICO
6	San Rafael	2.29	0.78	3.41	NO ATÍPICO
7	San Rafael	1.78	0.78	3.41	NO ATÍPICO
8	San Rafael	2.47	0.78	3.41	NO ATÍPICO
9	San Rafael	1.76	0.78	3.41	NO ATÍPICO
10	San Rafael	2.00	0.78	3.41	NO ATÍPICO
11	San Rafael	2.16	0.78	3.41	NO ATÍPICO
12	San Rafael	3.86	0.78	3.41	ATÍPICO
13	San Rafael	4.66	0.78	3.41	ATÍPICO
14	San Rafael	5.00	0.78	3.41	ATÍPICO
15	San Rafael	3.65	0.78	3.41	ATÍPICO
16	San Rafael	1.73	0.78	3.41	NO ATÍPICO
17	San Rafael	2.28	0.78	3.41	NO ATÍPICO
18	San Rafael	2.33	0.78	3.41	NO ATÍPICO
19	San Rafael	2.38	0.78	3.41	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D10 de la distribución granulométrica.

Tabla 16
Valores atípicos de D10 en San Rafael aguas abajo

Código	Descripción	D10 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	4.38	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
2	San Rafael	3.57	-0.69	7.27	NO ATÍPICO

3	San Rafael	3.17	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
4	San Rafael	3.02	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
5	San Rafael	4.89	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
6	San Rafael	4.48	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
7	San Rafael	1.93	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
8	San Rafael	2.00	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
9	San Rafael	2.75	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
10	San Rafael	2.40	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
11	San Rafael	14.63	-0.69	7.27	ATÍPICO
12	San Rafael	2.26	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
13	San Rafael	2.05	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
14	San Rafael	4.00	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
15	San Rafael	2.18	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
16	San Rafael	2.56	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
17	San Rafael	4.62	-0.69	7.27	NO ATÍPICO
18	San Rafael	3.09	-0.69	7.27	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D10 de la distribución granulométrica.

Tabla 17

Valores atípicos de D10 en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	D10 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	2.27	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
2	Ambo	2.17	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
3	Ambo	1.93	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
4	Ambo	4.16	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
5	Ambo	6.54	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
6	Ambo	2.33	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
7	Ambo	4.13	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
8	Ambo	6.34	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
9	Ambo	6.10	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
10	Ambo	1.72	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
11	Ambo	4.40	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
12	Ambo	7.81	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
13	Ambo	2.64	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
14	Ambo	1.23	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
15	Ambo	2.14	-3.79	12.23	NO ATÍPICO

16	Ambo	8.11	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
17	Ambo	5.60	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
18	Ambo	9.62	-3.79	12.23	NO ATÍPICO
19	Ambo	4.92	-3.79	12.23	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D10 de la distribución granulométrica.

Tabla 18

Valores atípicos de D10 en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	D10 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	2.84	0.48	4.01	NO ATÍPICO
2	Ambo	2.15	0.48	4.01	NO ATÍPICO
3	Ambo	1.77	0.48	4.01	NO ATÍPICO
4	Ambo	1.93	0.48	4.01	NO ATÍPICO
5	Ambo	1.41	0.48	4.01	NO ATÍPICO
6	Ambo	1.72	0.48	4.01	NO ATÍPICO
7	Ambo	1.85	0.48	4.01	NO ATÍPICO
8	Ambo	1.81	0.48	4.01	NO ATÍPICO
9	Ambo	2.20	0.48	4.01	NO ATÍPICO
10	Ambo	1.66	0.48	4.01	NO ATÍPICO
11	Ambo	2.05	0.48	4.01	NO ATÍPICO
12	Ambo	1.95	0.48	4.01	NO ATÍPICO
13	Ambo	2.63	0.48	4.01	NO ATÍPICO
14	Ambo	1.85	0.48	4.01	NO ATÍPICO
15	Ambo	1.09	0.48	4.01	NO ATÍPICO
16	Ambo	2.35	0.48	4.01	NO ATÍPICO
17	Ambo	4.74	0.48	4.01	ATÍPICO
18	Ambo	4.41	0.48	4.01	ATÍPICO
19	Ambo	6.69	0.48	4.01	ATÍPICO
20	Ambo	8.88	0.48	4.01	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D10 de la distribución granulométrica.

Así mismo, se realizó el tratamiento de los valores atípicos para la determinación del diámetro nominal D50, el cual se muestra a continuación.

Tabla 19

Valores atípicos de D50 en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	D50 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
--------	-------------	----------	-----------------	-----------------	--------------

1	San Rafael	44.03	21.47	73.45	NO ATÍPICO
2	San Rafael	37.26	21.47	73.45	NO ATÍPICO
3	San Rafael	40.24	21.47	73.45	NO ATÍPICO
4	San Rafael	41.69	21.47	73.45	NO ATÍPICO
5	San Rafael	49.99	21.47	73.45	NO ATÍPICO
6	San Rafael	51.93	21.47	73.45	NO ATÍPICO
7	San Rafael	36.41	21.47	73.45	NO ATÍPICO
8	San Rafael	54.58	21.47	73.45	NO ATÍPICO
9	San Rafael	39.40	21.47	73.45	NO ATÍPICO
10	San Rafael	51.79	21.47	73.45	NO ATÍPICO
11	San Rafael	52.08	21.47	73.45	NO ATÍPICO
12	San Rafael	77.01	21.47	73.45	ATÍPICO
13	San Rafael	95.28	21.47	73.45	ATÍPICO
14	San Rafael	116.76	21.47	73.45	ATÍPICO
15	San Rafael	89.95	21.47	73.45	ATÍPICO
16	San Rafael	45.26	21.47	73.45	NO ATÍPICO
17	San Rafael	50.75	21.47	73.45	NO ATÍPICO
18	San Rafael	40.06	21.47	73.45	NO ATÍPICO
19	San Rafael	53.34	21.47	73.45	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D50 de la distribución granulométrica para San Rafael.

Tabla 20

Valores atípicos de D50 en San Rafael aguas abajo

Código	Descripción	D50 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	126.63	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
2	San Rafael	97.81	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
3	San Rafael	92.68	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
4	San Rafael	110.37	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
5	San Rafael	111.29	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
6	San Rafael	150.68	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
7	San Rafael	48.85	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
8	San Rafael	60.30	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
9	San Rafael	81.23	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
10	San Rafael	65.01	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
11	San Rafael	551.31	-14.24	186.24	ATÍPICO
12	San Rafael	56.33	-14.24	186.24	NO ATÍPICO

13	San Rafael	57.57	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
14	San Rafael	100.00	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
15	San Rafael	59.28	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
16	San Rafael	62.86	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
17	San Rafael	133.88	-14.24	186.24	NO ATÍPICO
18	San Rafael	80.97	-14.24	186.24	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D50 de la distribución granulométrica para San Rafael.

Tabla 21

Valores atípicos de D50 en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	D50 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	62.77	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
2	Ambo	47.97	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
3	Ambo	43.06	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
4	Ambo	116.09	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
5	Ambo	182.07	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
6	Ambo	61.87	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
7	Ambo	106.94	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
8	Ambo	212.37	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
9	Ambo	190.77	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
10	Ambo	40.88	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
11	Ambo	108.53	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
12	Ambo	270.54	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
13	Ambo	71.15	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
14	Ambo	21.84	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
15	Ambo	50.80	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
16	Ambo	199.85	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
17	Ambo	140.04	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
18	Ambo	247.67	-138.79	381.54	NO ATÍPICO
19	Ambo	121.69	-138.79	381.54	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D50 de la distribución granulométrica para Ambo

Tabla 22

Valores atípicos de D50 en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	D50 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	62.64	7.54	100.10	NO ATÍPICO

2	Ambo	59.00	7.54	100.10	NO ATÍPICO
3	Ambo	38.19	7.54	100.10	NO ATÍPICO
4	Ambo	51.53	7.54	100.10	NO ATÍPICO
5	Ambo	34.88	7.54	100.10	NO ATÍPICO
6	Ambo	40.14	7.54	100.10	NO ATÍPICO
7	Ambo	48.01	7.54	100.10	NO ATÍPICO
8	Ambo	42.96	7.54	100.10	NO ATÍPICO
9	Ambo	60.35	7.54	100.10	NO ATÍPICO
10	Ambo	39.92	7.54	100.10	NO ATÍPICO
11	Ambo	53.43	7.54	100.10	NO ATÍPICO
12	Ambo	49.73	7.54	100.10	NO ATÍPICO
13	Ambo	71.54	7.54	100.10	NO ATÍPICO
14	Ambo	63.34	7.54	100.10	NO ATÍPICO
15	Ambo	21.92	7.54	100.10	NO ATÍPICO
16	Ambo	55.48	7.54	100.10	NO ATÍPICO
17	Ambo	160.14	7.54	100.10	ATÍPICO
18	Ambo	113.26	7.54	100.10	ATÍPICO
19	Ambo	165.38	7.54	100.10	ATÍPICO
20	Ambo	287.96	7.54	100.10	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D50 de la distribución granulométrica para Ambo.

Tabla 23
Valores atípicos de D90 en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	D10 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	113.52	71.14	187.20	NO ATÍPICO
2	San Rafael	123.68	71.14	187.20	NO ATÍPICO
3	San Rafael	96.30	71.14	187.20	NO ATÍPICO
4	San Rafael	119.61	71.14	187.20	NO ATÍPICO
5	San Rafael	115.80	71.14	187.20	NO ATÍPICO
6	San Rafael	121.77	71.14	187.20	NO ATÍPICO
7	San Rafael	130.24	71.14	187.20	NO ATÍPICO
8	San Rafael	136.30	71.14	187.20	NO ATÍPICO
9	San Rafael	103.68	71.14	187.20	NO ATÍPICO
10	San Rafael	110.22	71.14	187.20	NO ATÍPICO
11	San Rafael	137.97	71.14	187.20	NO ATÍPICO
12	San Rafael	269.93	71.14	187.20	ATÍPICO

13	San Rafael	152.55	71.14	187.20	NO ATÍPICO
14	San Rafael	269.53	71.14	187.20	ATÍPICO
15	San Rafael	178.37	71.14	187.20	NO ATÍPICO
16	San Rafael	149.38	71.14	187.20	NO ATÍPICO
17	San Rafael	122.98	71.14	187.20	NO ATÍPICO
18	San Rafael	96.45	71.14	187.20	NO ATÍPICO
19	San Rafael	133.60	71.14	187.20	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D90 de la distribución granulométrica para San Rafael.

Tabla 24

Valores atípicos de D90 en San Rafael aguas abajo

Código	Descripción	D90 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	222.29	57.60	414.36	NO ATÍPICO
2	San Rafael	206.15	57.60	414.36	NO ATÍPICO
3	San Rafael	181.63	57.60	414.36	NO ATÍPICO
4	San Rafael	368.93	57.60	414.36	NO ATÍPICO
5	San Rafael	343.90	57.60	414.36	NO ATÍPICO
6	San Rafael	198.85	57.60	414.36	NO ATÍPICO
7	San Rafael	120.68	57.60	414.36	NO ATÍPICO
8	San Rafael	286.76	57.60	414.36	NO ATÍPICO
9	San Rafael	189.27	57.60	414.36	NO ATÍPICO
10	San Rafael	216.37	57.60	414.36	NO ATÍPICO
11	San Rafael	710.26	57.60	414.36	ATÍPICO
12	San Rafael	129.97	57.60	414.36	NO ATÍPICO
13	San Rafael	134.43	57.60	414.36	NO ATÍPICO
14	San Rafael	262.05	57.60	414.36	NO ATÍPICO
15	San Rafael	224.54	57.60	414.36	NO ATÍPICO
16	San Rafael	197.74	57.60	414.36	NO ATÍPICO
17	San Rafael	357.23	57.60	414.36	NO ATÍPICO
18	San Rafael	207.25	57.60	414.36	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D90 de la distribución granulométrica para San Rafael.

Tabla 25

Valores atípicos de D90 en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	D90 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	178.41	-149.20	799.28	NO ATÍPICO

2	Ambo	207.65	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
3	Ambo	150.42	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
4	Ambo	272.62	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
5	Ambo	359.34	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
6	Ambo	263.09	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
7	Ambo	205.33	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
8	Ambo	693.88	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
9	Ambo	478.76	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
10	Ambo	207.64	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
11	Ambo	347.87	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
12	Ambo	474.39	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
13	Ambo	361.29	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
14	Ambo	87.61	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
15	Ambo	170.86	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
16	Ambo	653.34	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
17	Ambo	355.27	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
18	Ambo	441.07	-149.20	799.28	NO ATÍPICO
19	Ambo	446.14	-149.20	799.28	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D90 de la distribución granulométrica.

Tabla 26

Valores atípicos de D90 en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	D90 (mm)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	192.04	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
2	Ambo	146.24	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
3	Ambo	90.12	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
4	Ambo	118.28	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
5	Ambo	122.15	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
6	Ambo	118.82	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
7	Ambo	124.92	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
8	Ambo	125.27	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
9	Ambo	197.23	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
10	Ambo	365.11	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
11	Ambo	201.79	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
12	Ambo	208.50	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
13	Ambo	183.15	-53.74	420.84	NO ATÍPICO

14	Ambo	174.66	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
15	Ambo	63.80	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
16	Ambo	138.65	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
17	Ambo	442.89	-53.74	420.84	ATÍPICO
18	Ambo	349.60	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
19	Ambo	345.98	-53.74	420.84	NO ATÍPICO
20	Ambo	666.17	-53.74	420.84	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de las mediciones del D90 de la distribución granulométrica.

3.9.1.3. Clasificación en porcentajes de los sedimentos

La evaluación de la clasificación granulométrica en sus datos se dio por sus porcentajes de grava, arena y limo, presentes en el análisis.

Tabla 27

Valores atípicos de porcentaje de grava en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	Grava (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	89.50%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	86.10%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	87.90%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	89.40%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	92.90%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	94.80%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
7	San Rafael	90.80%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	92.20%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	91.40%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
10	San Rafael	89.40%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
11	San Rafael	92.90%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
12	San Rafael	94.60%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	94.10%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	94.90%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	95.80%	77.25%	103.25%	NO ATÍPICO
16	San Rafael	64.60%	77.25%	103.25%	ATÍPICO
17	San Rafael	67.60%	77.25%	103.25%	ATÍPICO
18	San Rafael	58.80%	77.25%	103.25%	ATÍPICO
19	San Rafael	68.90%	77.25%	103.25%	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de grava en la clasificación granulométrica.

Tabla 28*Valores atípicos de porcentaje de grava en San Rafael aguas abajo*

Código	Descripción	Grava (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	90.60%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	92.90%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	88.80%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	92.20%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	96.40%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	95.70%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
7	San Rafael	83.20%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	93.80%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	95.60%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
10	San Rafael	94.80%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
11	San Rafael	95.80%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
12	San Rafael	93.90%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	91.20%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	92.70%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	76.20%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
16	San Rafael	77.90%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
17	San Rafael	84.30%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO
18	San Rafael	81.60%	71.70%	108.30%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de grava en la clasificación granulométrica.

Tabla 29*Valores atípicos de porcentaje de grava Ambo aguas arriba*

Código	Descripción	Grava (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	90.50%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
2	Ambo	92.70%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
3	Ambo	91.70%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
4	Ambo	95.40%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
5	Ambo	95.60%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
6	Ambo	90.70%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
7	Ambo	95.40%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
8	Ambo	96.70%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
9	Ambo	94.80%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
10	Ambo	87.50%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
11	Ambo	92.40%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO

12	Ambo	95.90%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
13	Ambo	86.40%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
14	Ambo	78.13%	80.10%	104.10%	ATÍPICO
15	Ambo	86.40%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
16	Ambo	92.20%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
17	Ambo	89.30%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
18	Ambo	90.80%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO
19	Ambo	88.90%	80.10%	104.10%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de grava en la clasificación granulométrica.

Tabla 30

Valores atípicos de porcentaje de grava en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	Grava (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	94.30%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
2	Ambo	91.30%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
3	Ambo	88.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
4	Ambo	91.50%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
5	Ambo	89.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
6	Ambo	88.80%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
7	Ambo	91.70%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
8	Ambo	88.60%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
9	Ambo	87.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
10	Ambo	87.30%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
11	Ambo	91.89%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
12	Ambo	90.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
13	Ambo	93.80%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
14	Ambo	87.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
15	Ambo	80.40%	82.60%	96.60%	ATÍPICO
16	Ambo	80.20%	82.60%	96.60%	ATÍPICO
17	Ambo	86.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
18	Ambo	87.70%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
19	Ambo	89.90%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO
20	Ambo	89.80%	82.60%	96.60%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de grava en la clasificación granulométrica.

Tabla 31*Valores atípicos de porcentaje de arena San Rafael aguas arriba*

Código	Descripción	Arena (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	10.40%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	13.80%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	12.00%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	10.50%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	7.00%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	5.09%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
7	San Rafael	9.10%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	7.70%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	8.50%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
10	San Rafael	10.50%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
11	San Rafael	7.00%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
12	San Rafael	5.40%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	5.80%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	5.00%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	4.10%	-3.35%	22.65%	NO ATÍPICO
16	San Rafael	35.10%	-3.35%	22.65%	ATÍPICO
17	San Rafael	32.10%	-3.35%	22.65%	ATÍPICO
18	San Rafael	40.80%	-3.35%	22.65%	ATÍPICO
19	San Rafael	30.80%	-3.35%	22.65%	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de arena en la clasificación granulométrica.

Tabla 32*Valores atípicos de porcentaje de arena en San Rafael aguas abajo*

Código	Descripción	Arena (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	9.30%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	7.10%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	11.10%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	7.70%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	3.50%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	4.26%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
7	San Rafael	8.30%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	6.10%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	4.36%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
10	San Rafael	5.16%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO

11	San Rafael	4.06%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
12	San Rafael	6.10%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	8.80%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	7.20%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	23.25%	-2.49%	18.53%	ATÍPICO
16	San Rafael	21.90%	-2.49%	18.53%	ATÍPICO
17	San Rafael	15.50%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO
18	San Rafael	18.20%	-2.49%	18.53%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de arena en la clasificación granulométrica.

Tabla 33

Valores atípicos de porcentaje de arena en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	Arena (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	9.50%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
2	Ambo	7.30%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
3	Ambo	8.20%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
4	Ambo	4.46%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
5	Ambo	4.48%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
6	Ambo	9.20%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
7	Ambo	4.57%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
8	Ambo	3.36%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
9	Ambo	5.18%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
10	Ambo	12.40%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
11	Ambo	7.50%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
12	Ambo	4.17%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
13	Ambo	13.50%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
14	Ambo	21.50%	-4.01%	19.69%	ATÍPICO
15	Ambo	13.40%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
16	Ambo	7.80%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
17	Ambo	10.60%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
18	Ambo	9.20%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO
19	Ambo	11.00%	-4.01%	19.69%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de arena en la clasificación granulométrica.

Tabla 34

Valores atípicos de porcentaje de arena en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	Arena (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
--------	-------------	-----------	-----------------	-----------------	--------------

1	Ambo	5.60%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
2	Ambo	8.60%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
3	Ambo	11.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
4	Ambo	8.40%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
5	Ambo	10.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
6	Ambo	11.10%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
7	Ambo	8.20%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
8	Ambo	11.30%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
9	Ambo	11.90%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
10	Ambo	12.60%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
11	Ambo	8.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
12	Ambo	9.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
13	Ambo	6.20%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
14	Ambo	12.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
15	Ambo	19.40%	3.30%	17.30%	ATÍPICO
16	Ambo	19.60%	3.30%	17.30%	ATÍPICO
17	Ambo	13.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
18	Ambo	12.20%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
19	Ambo	10.00%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO
20	Ambo	10.10%	3.30%	17.30%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de arena en la clasificación granulométrica.

Tabla 35

Valores atípicos de porcentaje de limo en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	Limo (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	0.01%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
7	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
10	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
11	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO

12	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
16	San Rafael	0.30%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
17	San Rafael	0.30%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
18	San Rafael	0.40%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
19	San Rafael	0.30%	0.10%	0.10%	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de limo en la clasificación granulométrica.

Tabla 36

Valores atípicos de porcentaje de limo en San Rafael aguas abajo

Código	Descripción	Limo (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
2	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
3	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
4	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
5	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
6	San Rafael	0.04%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
7	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
8	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
9	San Rafael	0.04%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
10	San Rafael	0.04%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
11	San Rafael	0.04%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
12	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
13	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
14	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
15	San Rafael	0.20%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
16	San Rafael	0.20%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
17	San Rafael	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
18	San Rafael	0.20%	0.10%	0.10%	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de limo en la clasificación granulométrica.

Tabla 37

Valores atípicos de porcentaje de limo en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	Limo (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO

2	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
3	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
4	Ambo	0.04%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
5	Ambo	0.02%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
6	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
7	Ambo	0.03%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
8	Ambo	0.04%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
9	Ambo	0.02%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
10	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
11	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
12	Ambo	0.03%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
13	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
14	Ambo	0.20%	-0.05%	0.19%	ATÍPICO
15	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
16	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
17	Ambo	0.30%	-0.05%	0.19%	ATÍPICO
18	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO
19	Ambo	0.10%	-0.05%	0.19%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de limo en la clasificación granulométrica.

Tabla 38

Valores atípicos de porcentaje de limo en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	Limo (%)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
2	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
3	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
4	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
5	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
6	Ambo	0.01%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
7	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
8	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
9	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
10	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
11	Ambo	0.01%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
12	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
13	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO

14	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
15	Ambo	0.20%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
16	Ambo	0.20%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
17	Ambo	0.30%	0.10%	0.10%	ATÍPICO
18	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
19	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO
20	Ambo	0.10%	0.10%	0.10%	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de porcentaje de limo en la clasificación granulométrica.

El tratamiento de los datos atípicos de la forma de los sedimentos se dio analizando su cercanía a una forma esférica o cilíndrica, puesto que se disponían de datos de su diámetro y ancho.

Tabla 39

Valores atípicos de forma esférica en San Rafael aguas arriba

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	115	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
2	San Rafael	126	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
3	San Rafael	134	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
4	San Rafael	118	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
5	San Rafael	71	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
6	San Rafael	58	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
7	San Rafael	88	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
8	San Rafael	44	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
9	San Rafael	97	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
10	San Rafael	89	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
11	San Rafael	68	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
12	San Rafael	27	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
13	San Rafael	29	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
14	San Rafael	24	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
15	San Rafael	34	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
16	San Rafael	166	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
17	San Rafael	138	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
18	San Rafael	146	-57.00	231.00	NO ATÍPICO
19	San Rafael	120	-57.00	231.00	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de esfericidad de la forma de los sedimentos.

Tabla 40*Valores atípicos de forma esférica en San Rafael aguas abajo*

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	39	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
2	San Rafael	29	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
3	San Rafael	35	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
4	San Rafael	42	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
5	San Rafael	20	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
6	San Rafael	12	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
7	San Rafael	88	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
8	San Rafael	55	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
9	San Rafael	44	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
10	San Rafael	49	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
11	San Rafael	33	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
12	San Rafael	54	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
13	San Rafael	77	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
14	San Rafael	55	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
15	San Rafael	155	-33.38	151.63	ATÍPICO
16	San Rafael	140	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
17	San Rafael	84	-33.38	151.63	NO ATÍPICO
18	San Rafael	147	-33.38	151.63	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de esfericidad de la forma de los sedimentos.

Tabla 41*Valores atípicos de forma esférica en Ambo aguas arriba*

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	58	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
2	Ambo	70	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
3	Ambo	101	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
4	Ambo	27	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
5	Ambo	17	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
6	Ambo	38	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
7	Ambo	22	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
8	Ambo	19	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
9	Ambo	14	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
10	Ambo	87	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
11	Ambo	28	-40.25	121.75	NO ATÍPICO

12	Ambo	15	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
13	Ambo	44	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
14	Ambo	186	-40.25	121.75	ATÍPICO
15	Ambo	64	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
16	Ambo	11	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
17	Ambo	33	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
18	Ambo	31	-40.25	121.75	NO ATÍPICO
19	Ambo	43	-40.25	121.75	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de esfericidad de la forma de los sedimentos.

Tabla 42

Valores atípicos de forma esférica en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	47	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
2	Ambo	66	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
3	Ambo	87	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
4	Ambo	69	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
5	Ambo	111	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
6	Ambo	81	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
7	Ambo	78	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
8	Ambo	75	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
9	Ambo	63	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
10	Ambo	110	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
11	Ambo	74	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
12	Ambo	64	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
13	Ambo	35	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
14	Ambo	64	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
15	Ambo	191	-6.88	136.13	ATÍPICO
16	Ambo	159	-6.88	136.13	ATÍPICO
17	Ambo	46	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
18	Ambo	43	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
19	Ambo	24	-6.88	136.13	NO ATÍPICO
20	Ambo	27	-6.88	136.13	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de esfericidad de la forma de los sedimentos.

Tabla 43*Valores atípicos de forma cilíndrica en San Rafael aguas arriba*

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	131	28.75	178.75	NO ATÍPICO
2	San Rafael	148	28.75	178.75	NO ATÍPICO
3	San Rafael	123	28.75	178.75	NO ATÍPICO
4	San Rafael	122	28.75	178.75	NO ATÍPICO
5	San Rafael	91	28.75	178.75	NO ATÍPICO
6	San Rafael	96	28.75	178.75	NO ATÍPICO
7	San Rafael	145	28.75	178.75	NO ATÍPICO
8	San Rafael	85	28.75	178.75	NO ATÍPICO
9	San Rafael	123	28.75	178.75	NO ATÍPICO
10	San Rafael	99	28.75	178.75	NO ATÍPICO
11	San Rafael	89	28.75	178.75	NO ATÍPICO
12	San Rafael	44	28.75	178.75	NO ATÍPICO
13	San Rafael	34	28.75	178.75	NO ATÍPICO
14	San Rafael	24	28.75	178.75	ATÍPICO
15	San Rafael	53	28.75	178.75	NO ATÍPICO
16	San Rafael	115	28.75	178.75	NO ATÍPICO
17	San Rafael	99	28.75	178.75	NO ATÍPICO
18	San Rafael	85	28.75	178.75	NO ATÍPICO
19	San Rafael	85	28.75	178.75	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de cilíndricas de la forma de los sedimentos.

Tabla 44*Valores atípicos de forma cilíndrica en San Rafael aguas abajo*

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael	43	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
2	San Rafael	41	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
3	San Rafael	52	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
4	San Rafael	67	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
5	San Rafael	36	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
6	San Rafael	37	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
7	San Rafael	110	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
8	San Rafael	81	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
9	San Rafael	78	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
10	San Rafael	86	-24.88	162.13	NO ATÍPICO

11	San Rafael	39	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
12	San Rafael	94	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
13	San Rafael	85	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
14	San Rafael	56	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
15	San Rafael	125	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
16	San Rafael	122	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
17	San Rafael	52	-24.88	162.13	NO ATÍPICO
18	San Rafael	109	-24.88	162.13	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de cilíndricas de la forma de los sedimentos.

Tabla 45

Valores atípicos de forma cilíndrica en Ambo aguas arriba

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	Ambo	74	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
2	Ambo	64	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
3	Ambo	86	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
4	Ambo	48	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
5	Ambo	23	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
6	Ambo	69	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
7	Ambo	44	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
8	Ambo	45	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
9	Ambo	32	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
10	Ambo	97	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
11	Ambo	37	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
12	Ambo	27	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
13	Ambo	62	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
14	Ambo	170	-22.50	129.50	ATÍPICO
15	Ambo	71	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
16	Ambo	32	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
17	Ambo	74	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
18	Ambo	21	-22.50	129.50	NO ATÍPICO
19	Ambo	64	-22.50	129.50	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de cilíndricas de la forma de los sedimentos.

Tabla 46

Valores atípicos de forma cilíndrica en Ambo aguas abajo

Código	Descripción	Cantidad	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
--------	-------------	----------	-----------------	-----------------	--------------

1	Ambo	55	29.88	176.88	NO ATÍPICO
2	Ambo	95	29.88	176.88	NO ATÍPICO
3	Ambo	135	29.88	176.88	NO ATÍPICO
4	Ambo	106	29.88	176.88	NO ATÍPICO
5	Ambo	163	29.88	176.88	NO ATÍPICO
6	Ambo	124	29.88	176.88	NO ATÍPICO
7	Ambo	121	29.88	176.88	NO ATÍPICO
8	Ambo	102	29.88	176.88	NO ATÍPICO
9	Ambo	87	29.88	176.88	NO ATÍPICO
10	Ambo	90	29.88	176.88	NO ATÍPICO
11	Ambo	96	29.88	176.88	NO ATÍPICO
12	Ambo	99	29.88	176.88	NO ATÍPICO
13	Ambo	67	29.88	176.88	NO ATÍPICO
14	Ambo	93	29.88	176.88	NO ATÍPICO
15	Ambo	206	29.88	176.88	ATÍPICO
16	Ambo	153	29.88	176.88	NO ATÍPICO
17	Ambo	79	29.88	176.88	NO ATÍPICO
18	Ambo	104	29.88	176.88	NO ATÍPICO
19	Ambo	49	29.88	176.88	NO ATÍPICO
20	Ambo	37	29.88	176.88	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de cilíndricas de la forma de los sedimentos.

3.3.1.4. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo

El tratamiento de valores atípicos para la cuantificación de sedimentos se determinó a través de los resultados obtenidos de la tasa de transporte qt del cual se obtuvo los resultados y se procedió su evaluación de la siguiente manera.

Tabla 47

Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 mínimo

Código	Descripción	qt (m ² /s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael aguas arriba	15.9222	2.29	64.54	NO ATÍPICO
2	San Rafael aguas abajo	28.8701	2.29	64.54	NO ATÍPICO
3	Ambo aguas arriba	52.6603	2.29	64.54	NO ATÍPICO
4	Ambo aguas abajo	37.3738	2.29	64.54	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de la variación de la pendiente del río Huallaga en las zonas de evaluación después de analizar su comportamiento de agravación o degradación.

Tabla 48*Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 promedio*

Código	Descripción	qt (m2/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael aguas arriba	3.4535	1.19	3.24	ATÍPICO
2	San Rafael aguas abajo	1.9313	1.19	3.24	NO ATÍPICO
3	Ambo aguas arriba	1.9663	1.19	3.24	NO ATÍPICO
4	Ambo aguas abajo	2.1445	1.19	3.24	NO ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de la variación de la pendiente del río Huallaga en las zonas de evaluación después de analizar su comportamiento de agravación o degradación.

Tabla 49*Valores atípicos de la tasa de transporte con D50 máximo*

Código	Descripción	qt (m2/s)	Límite inferior	Límite Superior	Tipo de dato
1	San Rafael aguas arriba	0.0011	-0.04	0.08	NO ATÍPICO
2	San Rafael aguas abajo	0.0044	-0.04	0.08	NO ATÍPICO
3	Ambo aguas arriba	0.0034	-0.04	0.08	NO ATÍPICO
4	Ambo aguas abajo	0.1213	-0.04	0.08	ATÍPICO

Nota. Se muestran los resultados de la variación de la pendiente del río Huallaga en las zonas de evaluación después de analizar su comportamiento de agravación o degradación.

3.9.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó la inferencia estadística de la normalidad, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

3.9.2.1. Hidrograma de caudales

Para los datos de caudales obtenidos con el correntómetro en las trampas de fondo de San Rafael y Ambo se tiene la siguiente información analizada.

Tabla 50*Parámetros estadísticos de caudales con correntómetro*

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Caudal
01	San Rafael	Promedio	2.8332
		Desviación estándar	1.2480
		Varianza	1.5575
		Coeficiente de variación	0.4405
02	Ambo	Promedio	7.9889
		Desviación estándar	2.9514

Varianza	8.7110
Coeficiente de variación	0.3694

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de los caudales obtenidos con el método del correntómetro.

Para los datos del hidrograma de caudales obtenidos usando el método del LSPIV en las ciudades de San Rafael y Ambo se tiene la siguiente información analizada de sus parámetros estadísticos.

Tabla 51
Parámetros estadísticos de caudales con LSPIV

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Caudal
01	San Rafael	Promedio	13.9847
		Desviación estándar	15.2540
		Varianza	232.6847
		Coeficiente de variación	1.0908
02	Ambo	Promedio	7.6247
		Desviación estándar	7.2731
		Varianza	52.8978
		Coeficiente de variación	0.9539

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de los caudales obtenidos con el método del LSPIV.

3.9.2.2. Distribución granulométrica

Para el análisis de la distribución granulométrica referido a sus diámetros nominales se evaluó por la ubicación de las trampas de fondo.

Tabla 52
Parámetros estadísticos del diámetro D10

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D10
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	2.4858
		Desviación estándar	1.0298
		Varianza	1.0604
		Coeficiente de variación	0.4143
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	3.7758
		Desviación estándar	2.8788
		Varianza	8.2877

		Coeficiente de variación	0.7624
03	Ambo aguas arriba	Promedio	4.4292
		Desviación estándar	2.4839
		Varianza	6.1697
		Coeficiente de variación	0.5608
04	Ambo aguas abajo	Promedio	2.7994
		Desviación estándar	1.9558
		Varianza	3.8253
		Coeficiente de variación	0.6987

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de los diámetros D10 para San Rafael y Ambo.

Tabla 53

Parámetros estadísticos del diámetro D50

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D50
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	56.2004
		Desviación estándar	22.2685
		Varianza	495.8854
		Coeficiente de variación	0.3962
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	113.7256
		Desviación estándar	113.2112
		Varianza	12816.7686
		Coeficiente de variación	0.9955
03	Ambo aguas arriba	Promedio	120.8896
		Desviación estándar	76.1107
		Varianza	5792.8443
		Coeficiente de variación	0.6296
04	Ambo aguas abajo	Promedio	75.9903
		Desviación estándar	62.8294
		Varianza	3947.5381
		Coeficiente de variación	0.8268

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de los diámetros D50 para San Rafael y Ambo.

Tabla 54

Parámetros estadísticos del diámetro D90

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D90
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	141.1514

		Desviación estándar	49.5033
		Varianza	2450.5770
		Coefficiente de variación	0.3507
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	253.2394
		Desviación estándar	135.4956
		Varianza	18359.0571
		Coefficiente de variación	0.5350
03	Ambo aguas arriba	Promedio	334.4716
		Desviación estándar	166.7900
		Varianza	27818.9060
		Coefficiente de variación	0.4987
04	Ambo aguas abajo	Promedio	218.7678
		Desviación estándar	146.7399
		Varianza	21532.6038
		Coefficiente de variación	0.6708

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de los diámetros D90 para San Rafael y Ambo.

3.9.2.3. Clasificación en porcentajes de los sedimentos

El análisis de los parámetros estadísticos para la clasificación en porcentajes de los sedimentos fue la de determinar los porcentajes de grava, arena y limo que contenían las muestras de lecho del río, obtenidas en cada punto de control de las trampas de fondo en San Rafael y Ambo.

Tabla 55
Parámetros estadísticos de la clasificación de grava

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Grava
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	86.14%
		Desviación estándar	0.1166
		Varianza	0.0136
		Coefficiente de variación	0.1353
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	89.87%
		Desviación estándar	0.0642
		Varianza	0.0041
		Coefficiente de variación	0.0714

03	Ambo aguas arriba	Promedio	91.13%
		Desviación estándar	0.0450
		Varianza	0.0020
		Coefficiente de variación	0.0494
04	Ambo aguas abajo	Promedio	88.98%
		Desviación estándar	0.0361
		Varianza	0.0013
		Coefficiente de variación	0.0405

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de clasificación de grava en San Rafael y Ambo.

Tabla 56
Parámetros estadísticos de la clasificación de arena

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Arena
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	13.72%
		Desviación estándar	0.1156
		Varianza	0.0134
		Coefficiente de variación	0.8424
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	9.55%
		Desviación estándar	0.0611
		Varianza	0.0037
		Coefficiente de variación	0.6399
03	Ambo aguas arriba	Promedio	8.81%
		Desviación estándar	0.0442
		Varianza	0.0020
		Coefficiente de variación	0.5016
04	Ambo aguas abajo	Promedio	10.91%
		Desviación estándar	0.0357
		Varianza	0.0013
		Coefficiente de variación	0.3276

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de clasificación de arena en San Rafael y Ambo.

Tabla 57
Parámetros estadísticos de la clasificación de limo

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Limo
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	0.14%
		Desviación estándar	0.0010

		Varianza	1.02E-06
		Coefficiente de variación	0.7080
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	0.10%
		Desviación estándar	0.0005
		Varianza	2.6E-07
		Coefficiente de variación	0.4935
03	Ambo aguas arriba	Promedio	8.81%
		Desviación estándar	0.0442
		Varianza	0.0020
		Coefficiente de variación	0.5016
04	Ambo aguas abajo	Promedio	0.11%
		Desviación estándar	0.0006
		Varianza	3.88E-07
		Coefficiente de variación	0.5614

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de clasificación de limo en San Rafael y Ambo.

Para el análisis de los parámetros estadísticos de la forma de los sedimentos se realizó lo siguiente.

Tabla 58
Parámetros estadísticos de la forma esférica

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Cantidad
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	89.05
		Desviación estándar	44.6971
		Varianza	1997.8304
		Coefficiente de variación	0.5019
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	64.3333
		Desviación estándar	43.2176
		Varianza	1867.7647
		Coefficiente de variación	0.6718
03	Ambo aguas arriba	Promedio	47.7895
		Desviación estándar	42.0325
		Varianza	1766.7310
		Coefficiente de variación	0.8795
04	Ambo aguas abajo	Promedio	75.7000

Desviación estándar	41.5934
Varianza	1730.0105
Coeficiente de variación	0.5495

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de la forma esférica de sedimentos en San Rafael y Ambo.

Tabla 59

Parámetros estadísticos de la forma cilíndrica

Código	Descripción	Parámetro estadístico	Cantidad
01	San Rafael aguas arriba	Promedio	94.26
		Desviación estándar	35.5931
		Varianza	1266.8713
		Coeficiente de variación	0.3776
02	San Rafael aguas abajo	Promedio	72.9444
		Desviación estándar	30.2586
		Varianza	915.5850
		Coeficiente de variación	0.4148
03	Ambo aguas arriba	Promedio	60.0000
		Desviación estándar	34.5414
		Varianza	1193.1111
		Coeficiente de variación	0.5757
04	Ambo aguas abajo	Promedio	103.0500
		Desviación estándar	40.1385
		Varianza	1611.1026
		Coeficiente de variación	0.3895

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de la forma cilíndrica de sedimentos en San Rafael y Ambo.

3.9.2.4. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo

El análisis de los parámetros estadísticos de la tasa de transporte de sedimentos se realizó de la siguiente manera para los D50 mínimo, promedio y máximo.

Tabla 60

Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 mínimo

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D50
01	San Rafael y Ambo	Promedio	33.7066
		Desviación estándar	15.4096

Varianza	237.4560
Coefficiente de variación	0.4572

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de la tasa de transporte con un diámetro D50 mínimo en San Rafael y Ambo.

Tabla 61

Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 promedio

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D50
01	San Rafael y Ambo	Promedio	2.3739
		Desviación estándar	0.7258
		Varianza	0.5268
		Coefficiente de variación	0.3057

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de la tasa de transporte con un diámetro D50 promedio en San Rafael y Ambo.

Tabla 62

Parámetros estadísticos de qt con el diámetro D50 máximo

Código	Descripción	Parámetro estadístico	D50
01	San Rafael y Ambo	Promedio	0.0325
		Desviación estándar	0.0592
		Varianza	0.0035
		Coefficiente de variación	1.8184

Nota. Se muestran los resultados del análisis de los parámetros estadísticos de la tasa de transporte con un diámetro D50 máximo en San Rafael y Ambo.

3.9.3. Confiabilidad de resultados

La confiabilidad de los resultados depende de los instrumentos y procedimientos que se realizaron durante el proceso de la investigación, para esto se debe tener una calibración de los instrumentos, así como un diagrama de flujo que nos permita no cometer equivocaciones que puedan alterar los datos obtenidos. Asimismo “la confiabilidad o fiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo, caso o muestra produce resultados iguales” (Hernández y Mendoza, 2018, p. 228).

Para la investigación que se realizó el uso de los instrumentos de campo por parte de la unidad investigadora del CITA, así mismo en el procedimiento de la obtención

de datos se realizó con el juicio de los expertos del área de la unidad investigadora, bajo ello se procedió a realizar diversos ensayos, de los cuales solo los que se requerían para esta investigación han sido solicitados y usados respectivamente con la autorización debida. Para la validez de los resultados obtenidos Hernández y Mendoza (2018) mencionan que “la evidencia de la validez de criterio se produce al correlacionar las puntuaciones de los participantes, obtenidas por medio del instrumento, con sus valores logrados en el criterio” (p. 326). Menciona también Ventura-León y Peña-Calero (2020) que para “indicar que una prueba presenta puntuaciones fiables requiere reportar la matriz de correlación inter-ítems, su promedio, su desviación estándar, la cantidad de los ítems y los estudios previos o meta-analíticos para considerar el contexto de la investigación” (p. 2). Considerando esto se analizó los valores estadísticos para correlacionar los datos obtenidos en campo puesto que la dispersión de datos encontrados y analizados en campo lo requerían.

3.9.4. Consideraciones éticas

En la investigación realizada, se referencio a los autores cuya teoría fue extraída y utilizada, esto con el fin de dar el crédito correspondiente por su aporte a dilucidar mejor los temas tratados los cuales se hallan en Referencias bibliográficas. Así mismo la investigación fue realizada y dirigida por el CITA – UTEC, el cual mediante un grupo de investigación estuvo a cargo de los ensayos y extracción de datos de campo, en todo el ámbito del proyecto que se desarrolló en el Amazonas, por lo cual se pidió y obtuvo una constancia de autorización de los datos puntuales para su uso en esta investigación, el cual se está adjuntando en el Anexo de instrumentos y validación de instrumentos por jueces, siendo el CITA – UTEC, el dueño de esta información, cuyo contacto queda plasmada para su corroboración del caso de ser necesaria. Así mismo, se referencia, se da el crédito de los datos y se agradece por su ayuda en esta investigación.

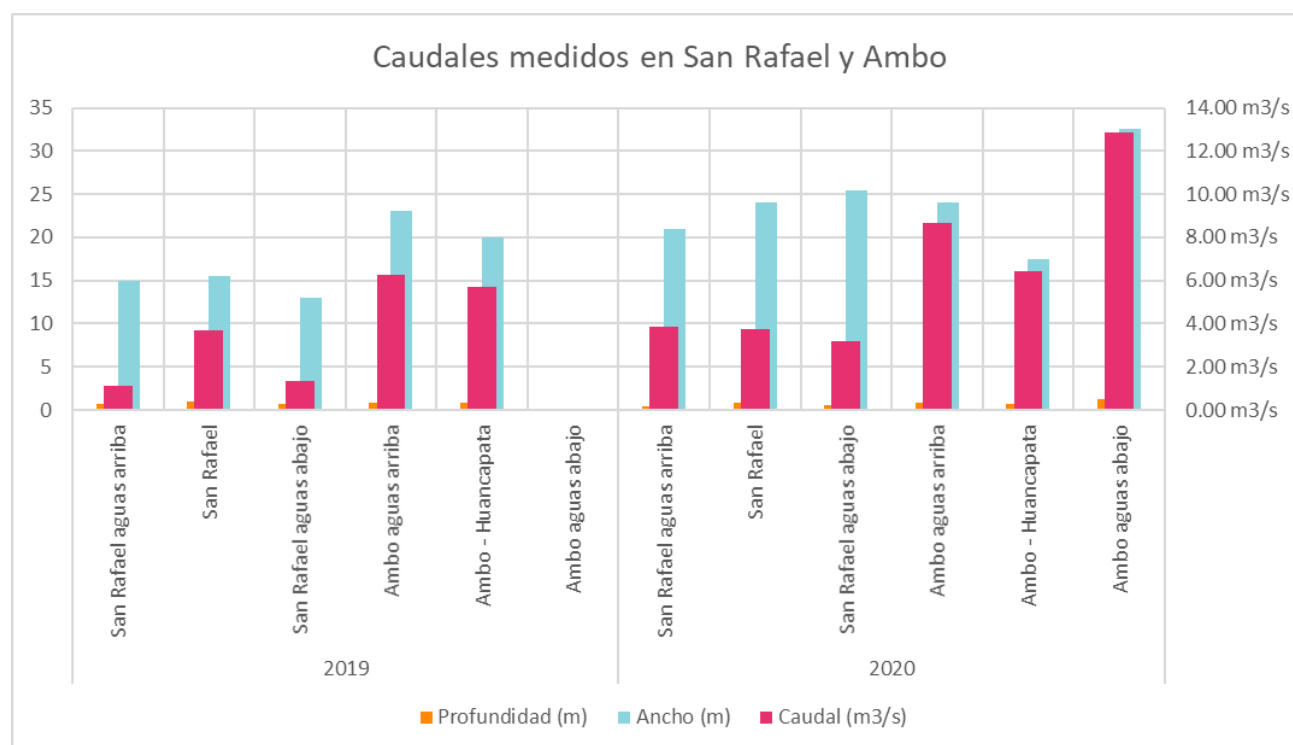
CAPITULO IV. RESULTADOS

5.1. Hidrograma de caudales

Se muestran los caudales que se obtuvieron en las dos campañas que se realizaron el río Huallaga por parte de la unidad investigadora del CITA, teniendo como puntos de control las ubicaciones de las trampas de fondo, así como la zona central de la ciudad cercano a un puente, en el cual se ubicaba también las cámaras para el LSPIV, para los distritos de San Rafael y Ambo.

Figura 29

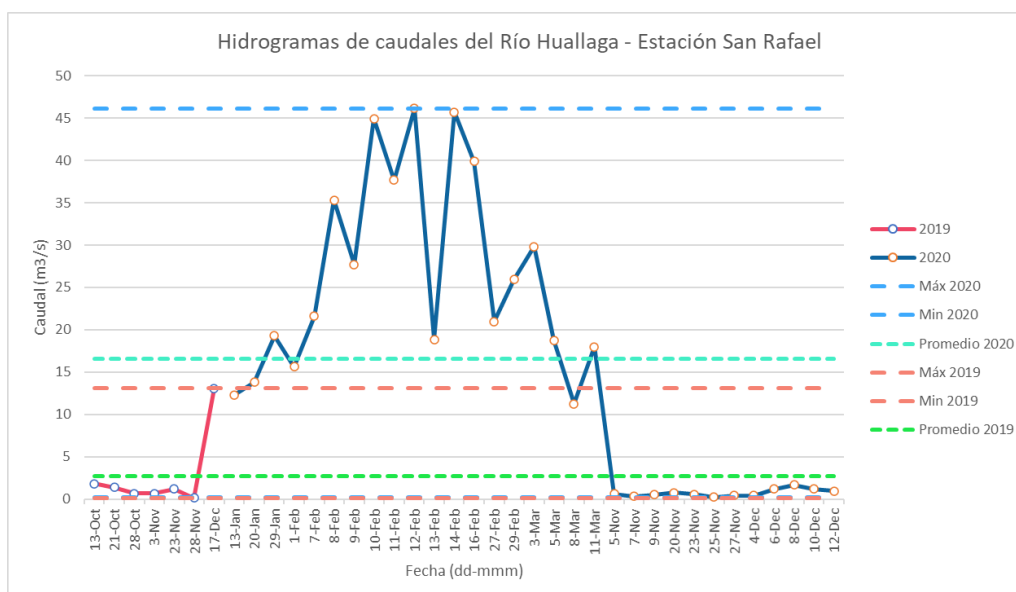
Caudales medidos con el correntómetro en San Rafael y Ambo



Nota. Se muestra los caudales que se obtuvieron con el correntómetro en San Rafael y Ambo, tomados por parte de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

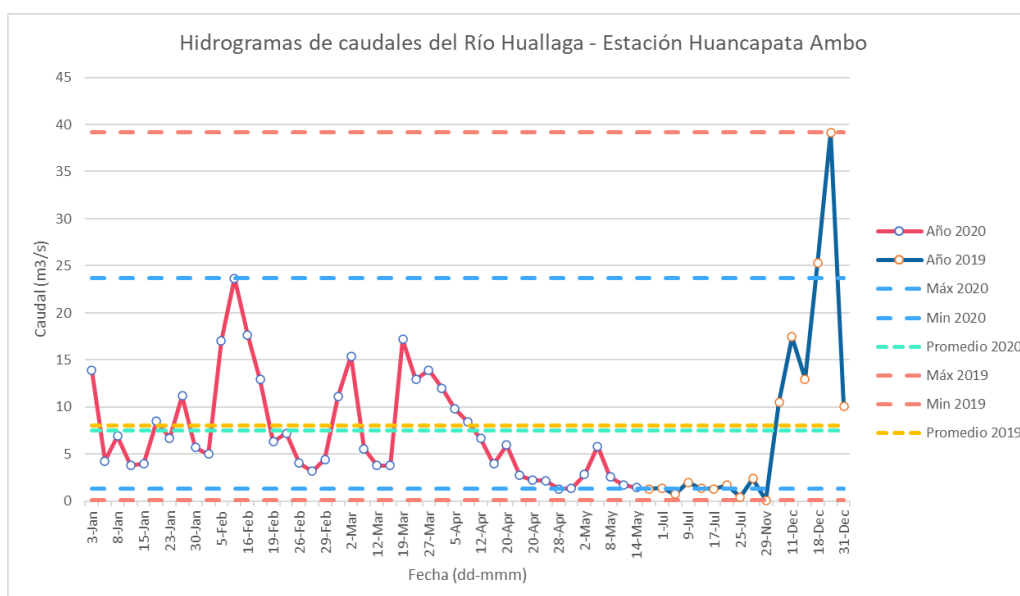
Así mismo los datos del hidrograma de caudales obtenidos por el método de Velocimetría de imágenes de partículas a gran escala también conocido en inglés como “Large scale particle image velocimetry” (LSPIV) entre los años 2019 y 2020 los cuales fueron obtenidos de la unidad investigadora del CITA se visualiza en las siguientes figuras:

Figura 30
Hidrograma de caudales LSPIV de la Estación San Rafael



Nota. Se muestra el hidrograma de caudales generado a partir de las mediciones de LSPIV, tomados por parte de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

Figura 31
Hidrograma de caudales LSPIV de la Estación Huancapata Ambo



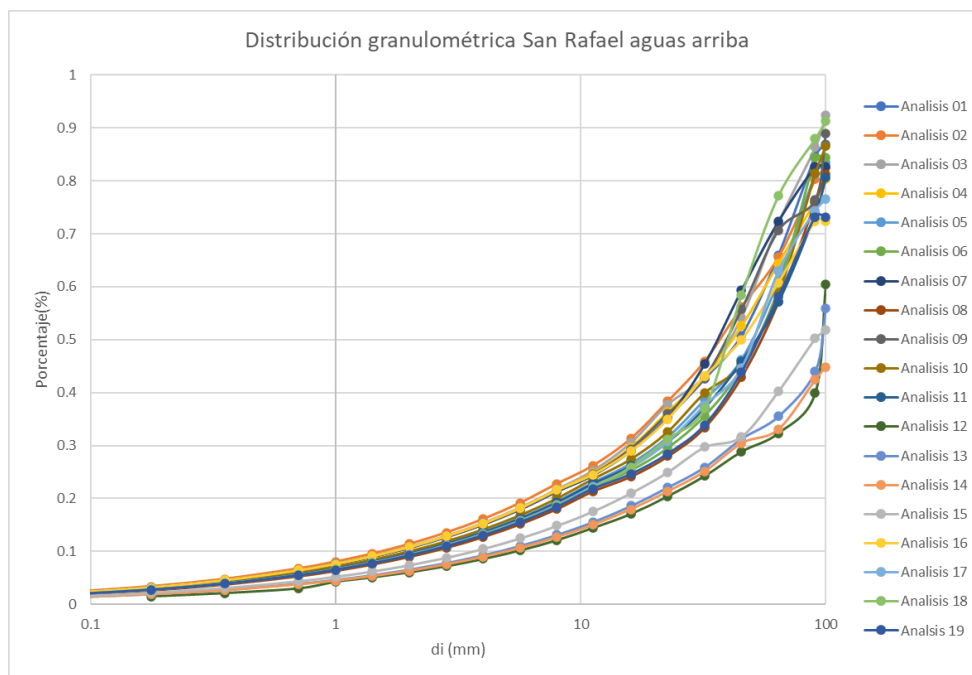
Nota. Se muestra el hidrograma de caudales generado a partir de las mediciones de LSPIV, tomados por parte de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 02.

5.2. Distribución granulométrica

El análisis de la distribución granulométrica usando BASEGRAIN se realizó para un total de 20 fotografías en cada área de interés, siendo un total de 80 muestras fotográficas, de los cuales se eliminó 4 fotografías por no tener el nivel de exactitud

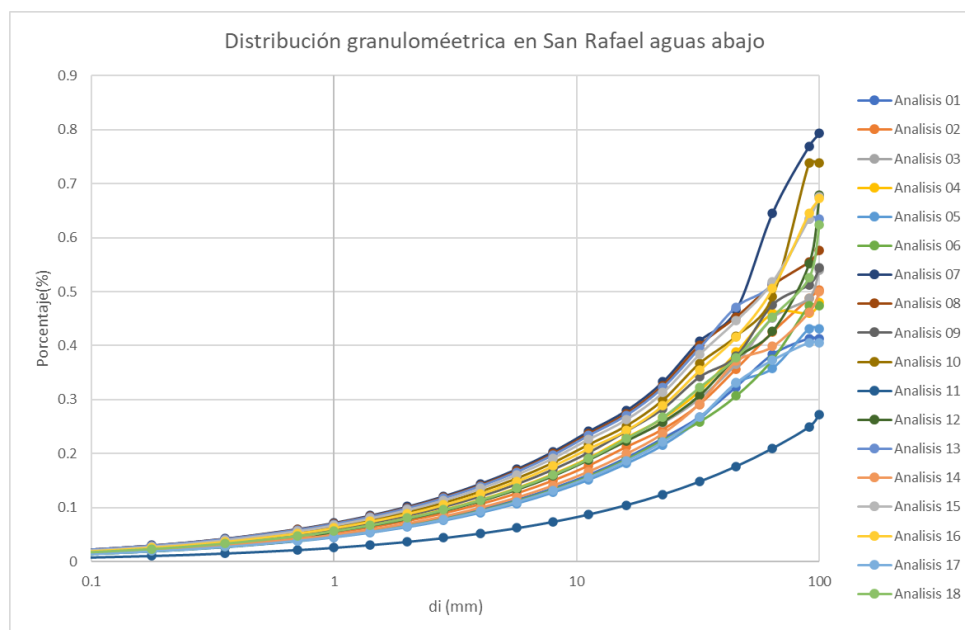
correspondiente con lo requerido para su análisis. Con esto procedimiento se determinó los diámetros característicos de las muestras del lecho de fondo, las cuales son: D10, D50 y D90 los resultados se muestran en las siguientes figuras.

Figura 32
Distribución granulométrica en San Rafael aguas arriba



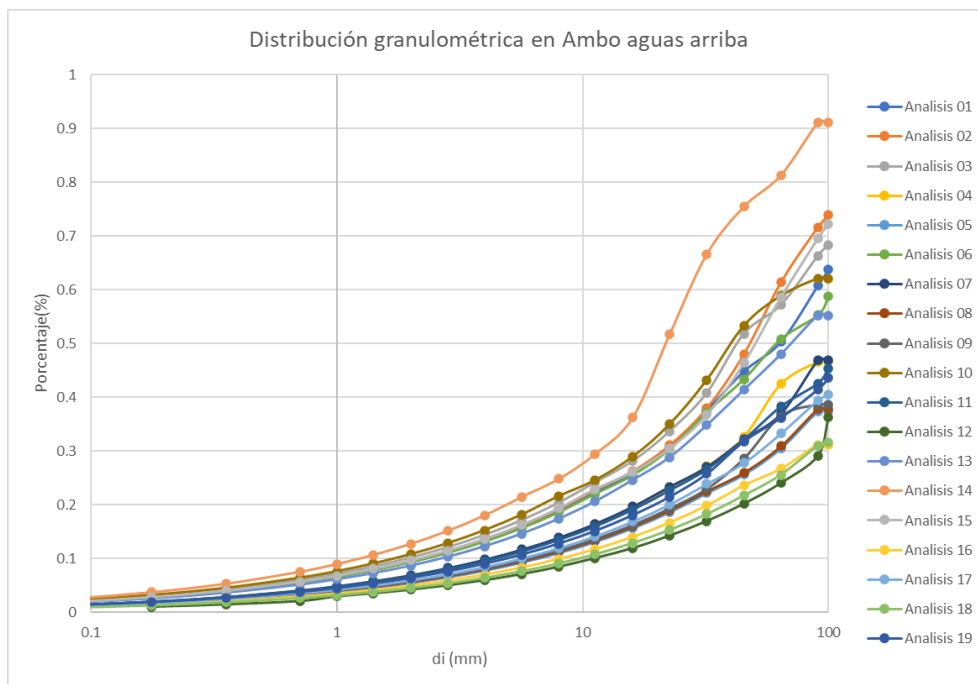
Nota. Se muestra resultados del análisis en BASEGRAIN de la distribución granulométrica.

Figura 33
Distribución granulométrica en San Rafael aguas abajo



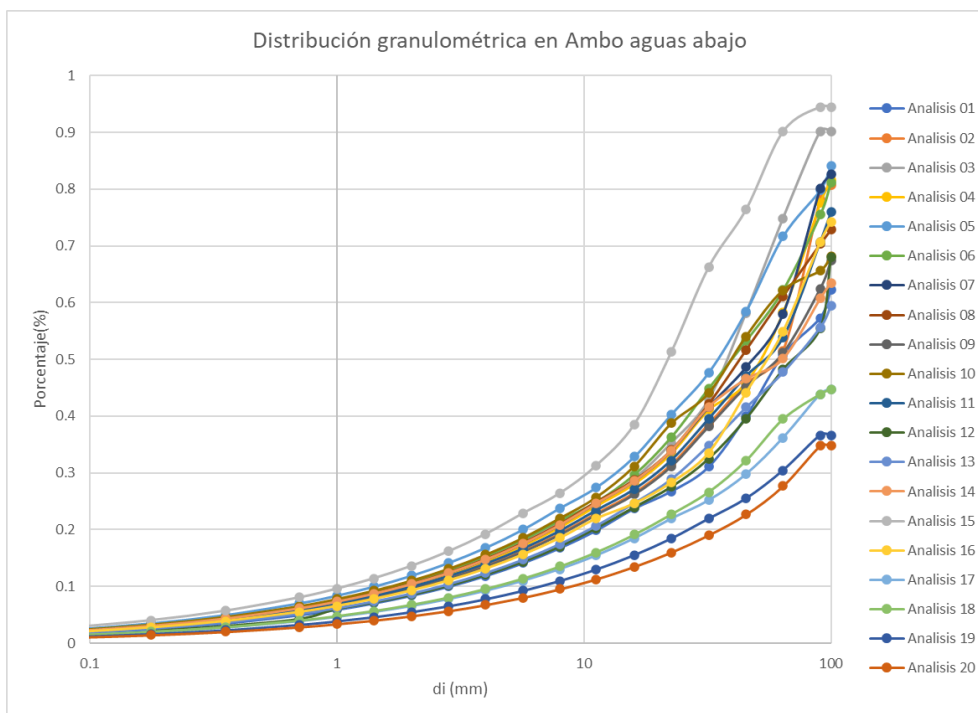
Nota. Se muestra resultados del análisis en BASEGRAIN de la distribución granulométrica.

Figura 34
Distribución granulométrica en Ambo aguas arriba



Nota. Se muestra resultados del análisis en BASEGRAIN de la distribución granulométrica.

Figura 35
Distribución granulométrica en Ambo aguas abajo

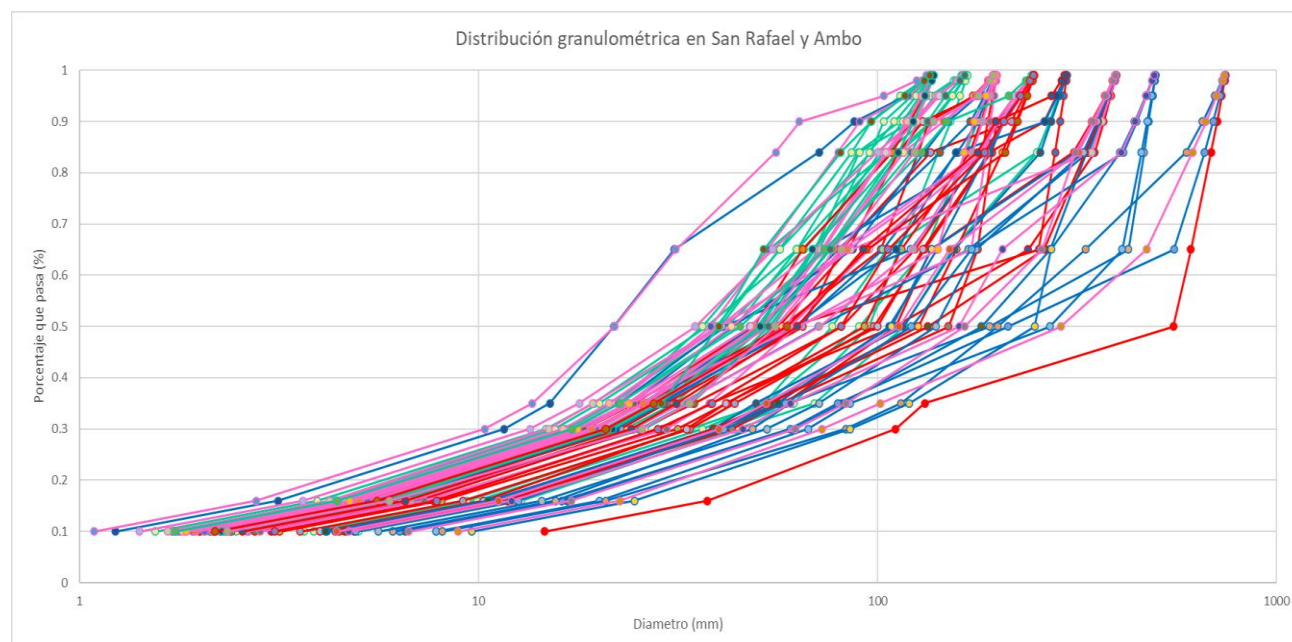


Nota. Se muestra resultados del análisis en BASEGRAIN de la distribución granulométrica.

Los datos unificados de las cuatro ubicaciones en San Rafael y Ambo se muestran en la siguiente figura, resumiendo los valores obtenidos.

Figura 36

Resultados obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo



Nota. Se muestra las curvas logarítmicas obtenidas en la distribución granulométrica con BASEGRAIN. Elaboración usando el software de BASEGRAIN.

Así mismo, el resumen de los D10, D50 y D90 determinando su valor promedio, mínimo y máximo se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 63

Diámetro nominal D10 en San Rafael y Ambo

D10 (mm)	San Rafael aguas arriba	San Rafael aguas abajo	Ambo aguas arriba	Ambo aguas abajo
Promedio	2.4858	3.7758	4.4292	2.7994
Desviación estándar	1.0298	2.8788	2.4839	1.9558
Límite Máximo	1.0604	8.2877	6.1697	3.8253
Límite Mínimo	0.4143	0.7624	0.5608	0.6987

Nota. Resultados de distribución granulométrica obtenidas usando BASEGRAIN.

Tabla 64

Diámetro nominal D50 en San Rafael y Ambo

D50 (mm)	San Rafael aguas arriba	San Rafael aguas abajo	Ambo aguas arriba	Ambo aguas abajo
Promedio	56.2004	113.7256	120.8896	75.9903

Desviación estándar	22.2685	113.2112	76.1107	62.8294
Límite Máximo	495.8854	12816.7686	5792.8443	3947.5381
Límite Mínimo	0.3962	0.9955	0.6296	0.8268

Nota. Resultados de distribución granulométrica obtenidas usando BASEGRAIN.

Tabla 65

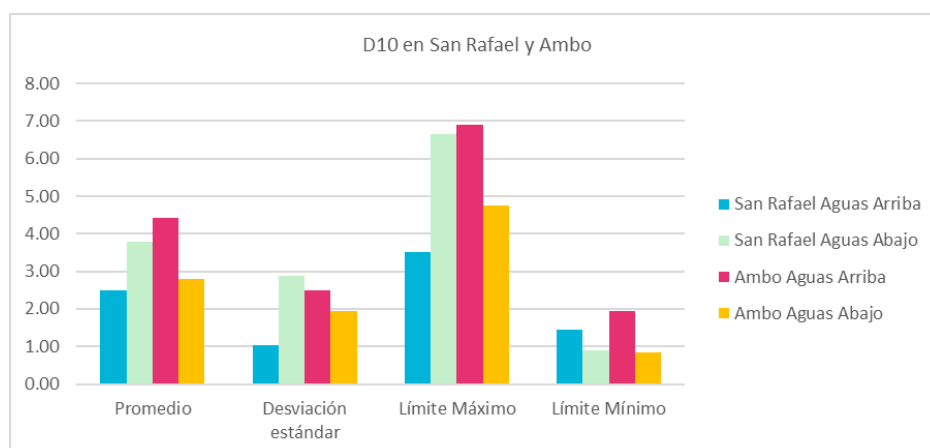
Diámetro nominal D90 en San Rafael y Ambo

D90 (mm)	San Rafael aguas arriba	San Rafael aguas abajo	Ambo aguas arriba	Ambo aguas abajo
Promedio	141.1514	253.2394	334.4716	218.7678
Desviación estándar	49.5033	135.4956	166.7900	146.7399
Límite Máximo	2450.5770	18359.0571	27818.9060	21532.6038
Límite Mínimo	0.3507	0.5350	0.4987	0.6708

Nota. Resultados de distribución granulométrica obtenidas usando BASEGRAIN.

Figura 37

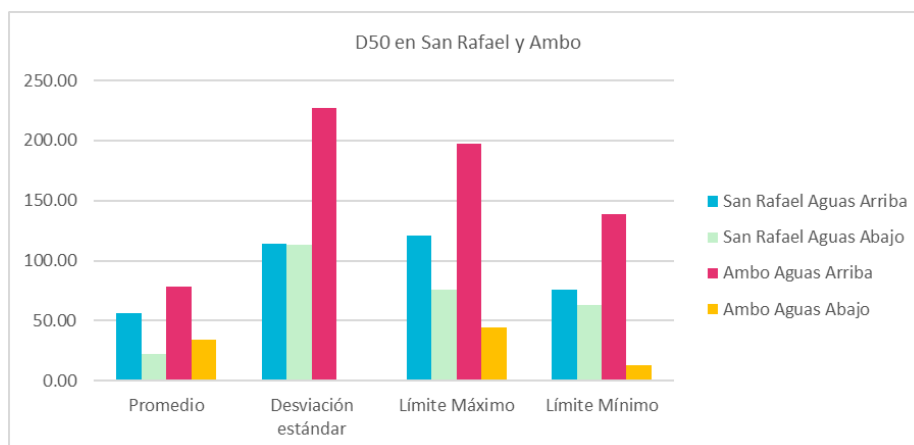
Diámetro D10 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo



Nota. Se muestra los resultados de D10 de la distribución granulométrica con BASEGRAIN.

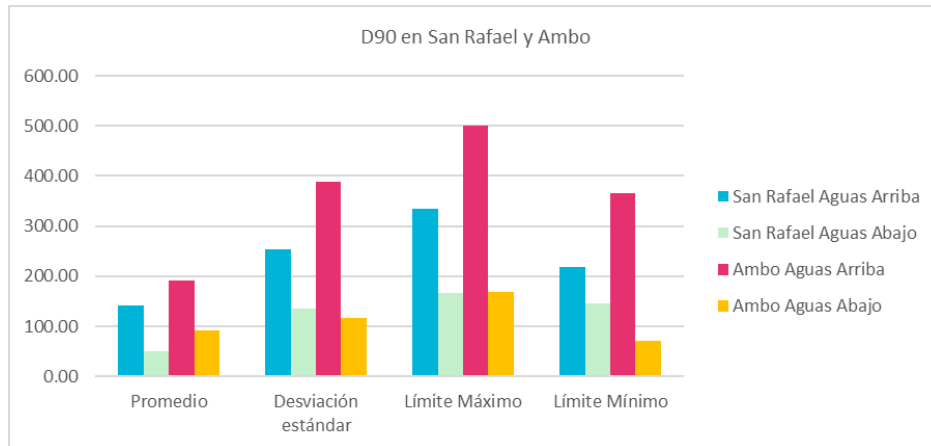
Figura 38

Diámetro D50 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo



Nota. Se muestra los resultados de D50 de la distribución granulométrica con BASEGRAIN.

Figura 39
 Diámetro D90 obtenidos en BASEGRAIN de San Rafael y Ambo

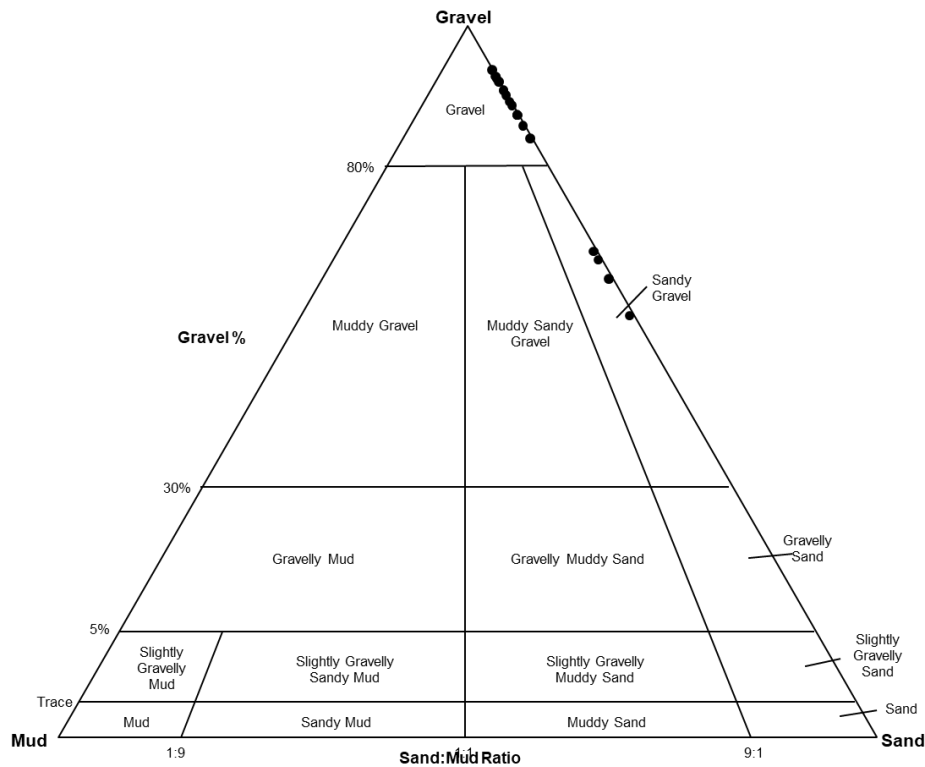


Nota. Se muestra los resultados de D90 de la distribución granulométrica con BASEGRAIN.

5.3. Clasificación en porcentajes de los sedimentos de fondo

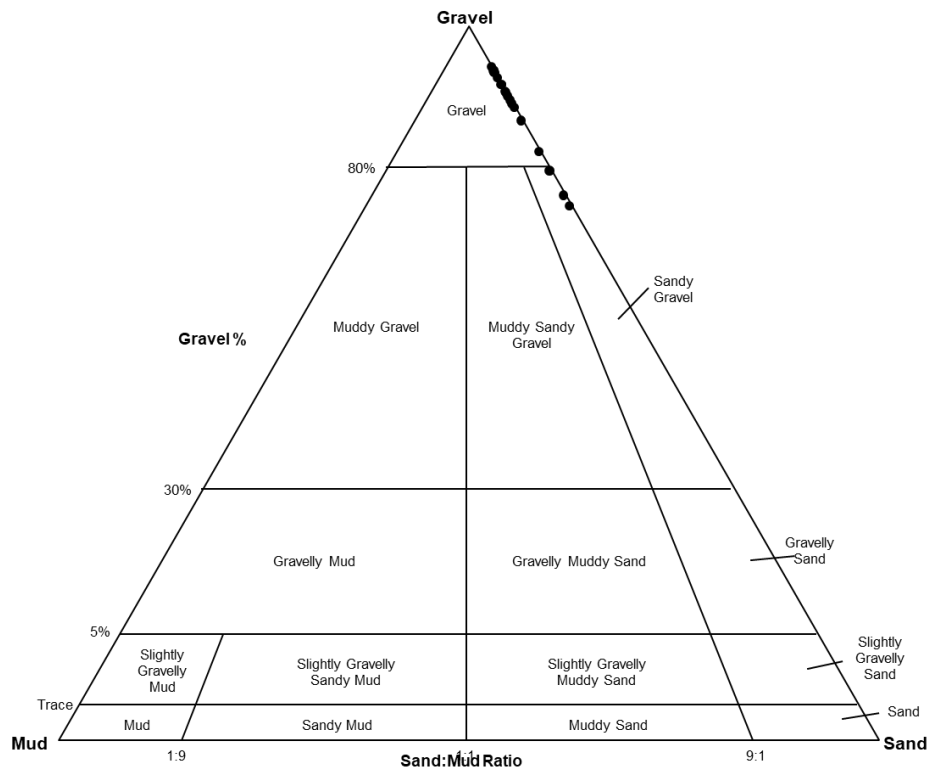
La clasificación de las muestras obtenidas nos muestra que los sedimentos de transporte de fondo son de gravas muy gruesas y de gravas arenosas muy gruesas, las cuales se pueden apreciar en los siguientes gráficos resultantes.

Figura 40
 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de San Rafael aguas arriba



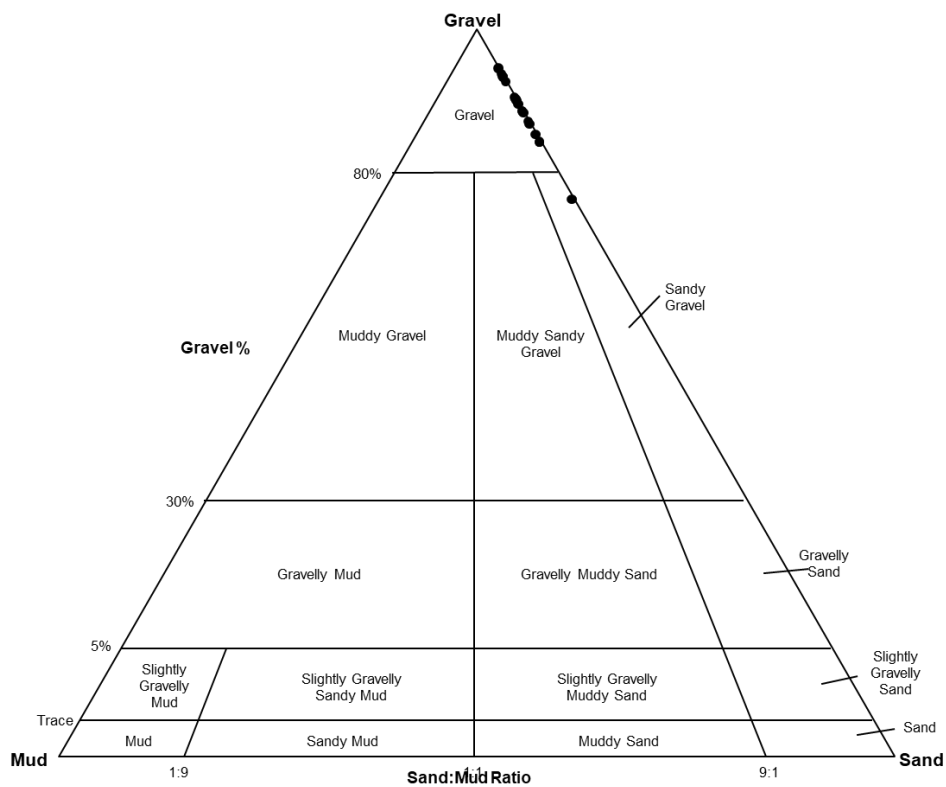
Nota. Se muestra los resultados de la clasificación granulométrica en GRADISTAT.

Figura 41
 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de San Rafael aguas abajo



Nota. Se muestra los resultados de la clasificación granulométrica en GRADISTAT.

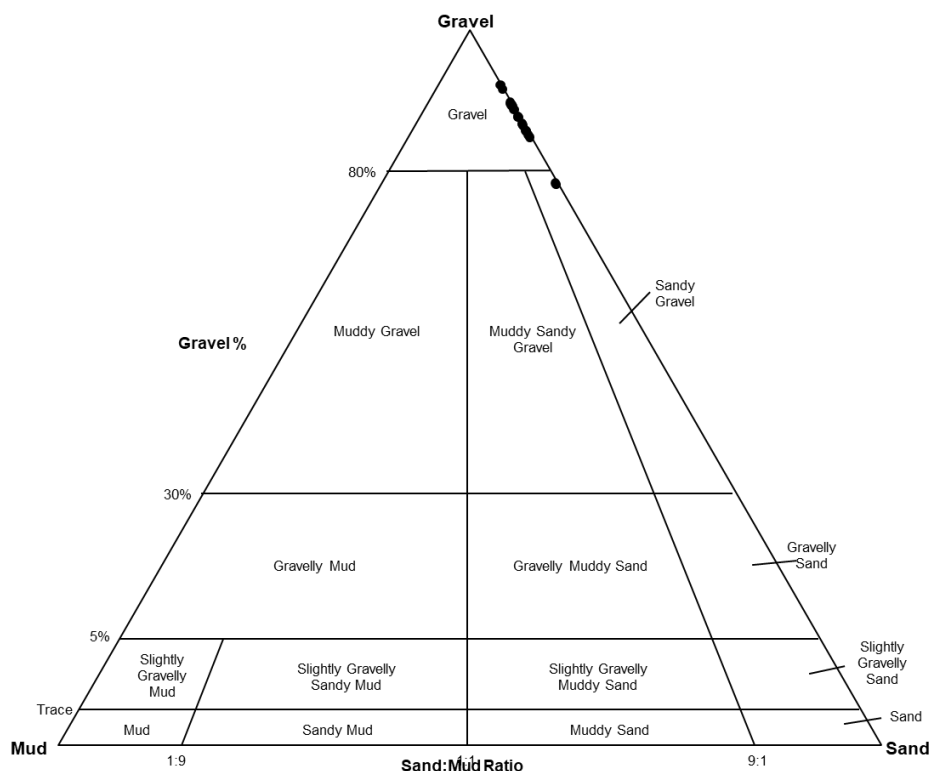
Figura 42
 Clasificación granulométrica en GRADISTAT de Ambo aguas arriba



Nota. Se muestra los resultados de la clasificación granulométrica en GRADISTAT.

Figura 43

Clasificación granulométrica en GRADISTAT de Ambo aguas abajo



Nota. Se muestra los resultados de la clasificación granulométrica en GRADISTAT.

El resumen de los valores máximos y mínimos encontrados para las gravas, arenas y limos encontrados se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 66

Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en San Rafael

	San Rafael aguas arriba			San Rafael aguas abajo		
	Grava	Arena	Limo	Grava	Arena	Limo
Máximo	95.80%	40.80%	0.40%	96.40%	23.25%	0.20%
Mínimo	58.80%	4.10%	0.01%	76.20%	3.50%	0.04%

Nota. Se muestra los resultados de valores máximos y mínimos de las gravas, arenas y limos.

Tabla 67

Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en Ambo

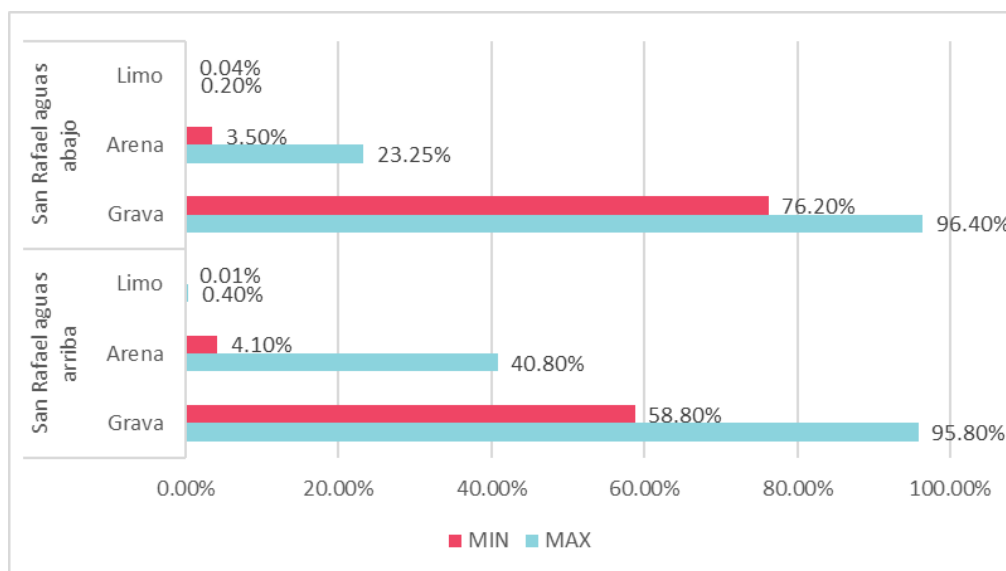
	Ambo aguas arriba			Ambo aguas abajo		
	Grava	Arena	Limo	Grava	Arena	Limo
Máximo	96.70%	21.50%	0.30%	94.30%	19.60%	0.30%
Mínimo	78.13%	3.36%	0.02%	80.20%	5.60%	0.01%

Nota. Se muestra los resultados de valores máximos y mínimos de las gravas, arenas y limos.

Estos resultados se pueden apreciar e interpretar de forma más fácil con los gráficos que se muestran a continuación:

Figura 44

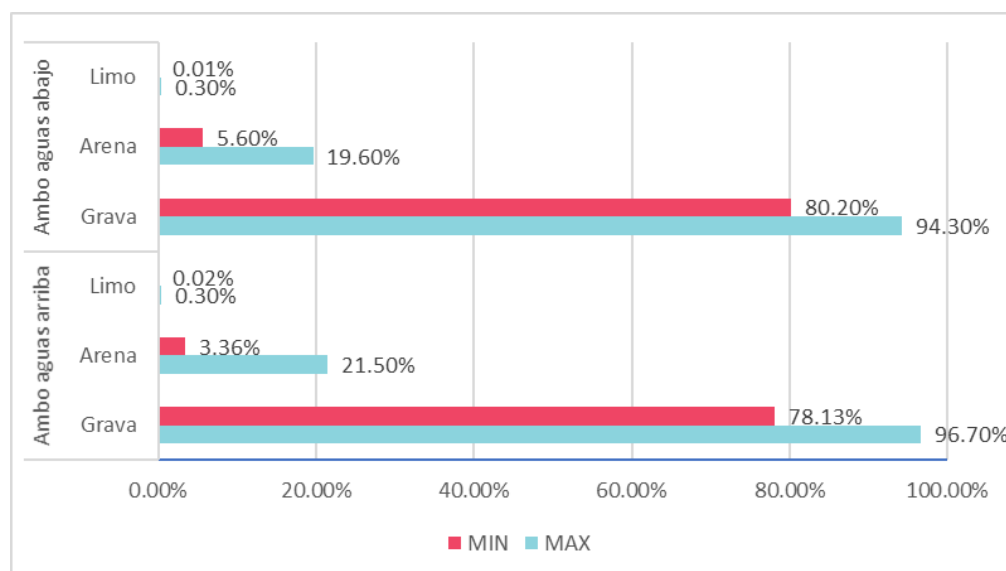
Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en San Rafael



Nota. Se muestra la representación de los porcentajes obtenidos en el análisis de la clasificación de los sedimentos de fondo.

Figura 45

Valores máximos y mínimos de grava, arena y limo en Ambo



Nota. Se muestra la representación de los porcentajes obtenidos en el análisis de la clasificación de los sedimentos de fondo.

Así mismo, para la forma de los sedimentos de fondo se evaluó usando la relación descrita (Zingg, 1935), para ello se utilizó los diámetros obtenidos mediante el análisis

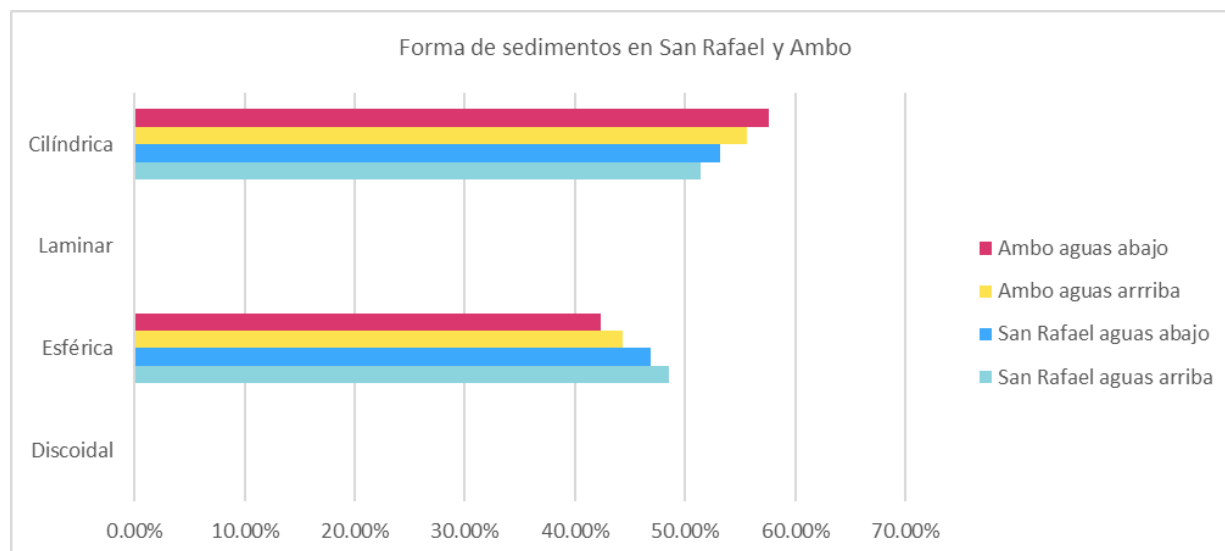
de BASEGRAIN, así como la complementación de los datos del ancho usando una fórmula para cantos rodados, se tienen la siguiente tabla y figura.

Tabla 68
Porcentaje de las formas presente e San Rafael y Ambo

Descripción	Discoidal	Esférica	Laminar	Cilíndrica
San Rafael aguas arriba	0.00%	48.58%	0.00%	51.42%
San Rafael aguas abajo	0.00%	46.86%	0.00%	53.14%
Ambo aguas arriba	0.00%	44.31%	0.05%	55.64%
Ambo aguas abajo	0.00%	42.33%	0.06%	57.62%

Nota. Se muestra los resultados de porcentajes de la cantidad de formas presente en las muestras analizadas.

Figura 46
Forma de sedimentos en San Rafael y Ambo

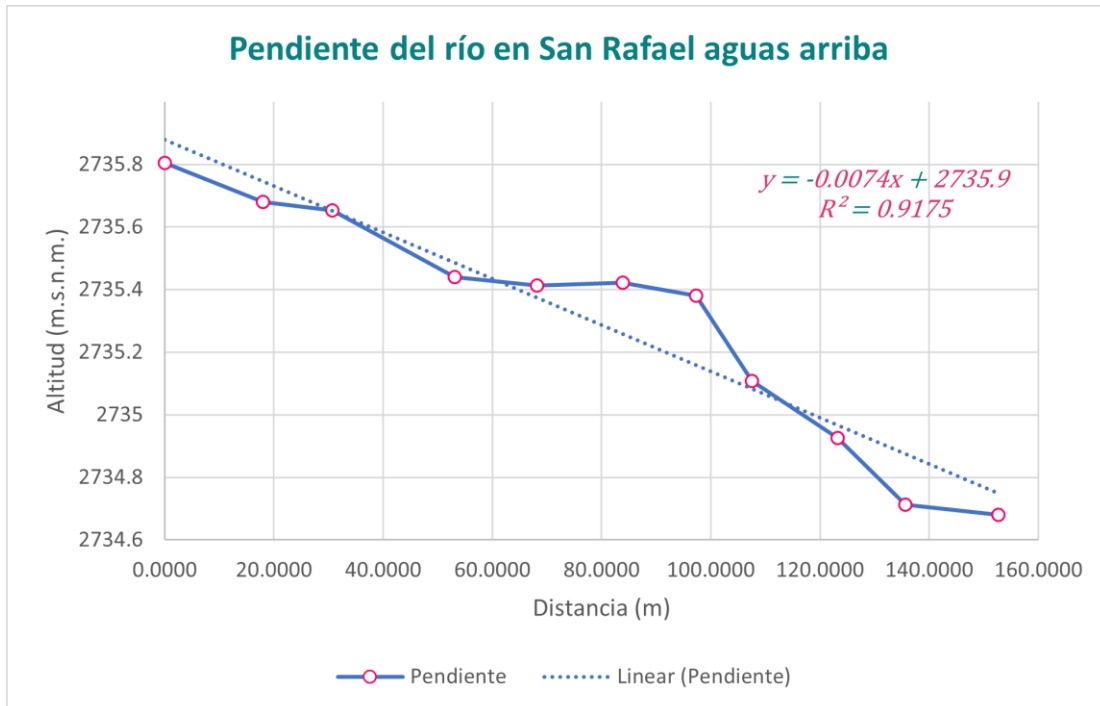


Nota. Se muestra los resultados de porcentajes de la cantidad de formas presente en las muestras analizadas en una gráfica.

5.4. Cuantificación del transporte de sedimentos de fondo

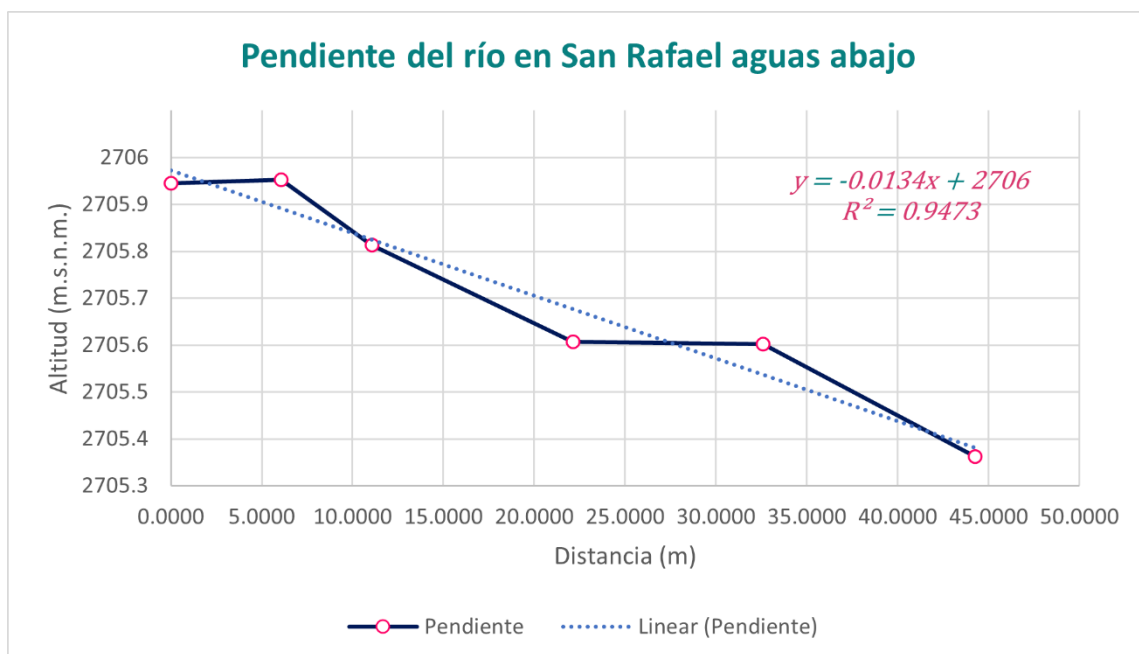
Para obtener los resultados de cuantificación del transporte sedimentos de fondo se evaluó primero los resultados de la pendiente del levantamiento topográfico, esto con el fin de determinar los niveles del río en su recorrido y posterior a ello calcular la pendiente del río Huallaga. Los valores resultantes de la pendiente fueron evaluados por cada punto de control de las trampas de carga de fondo de sedimentos.

Figura 47
Pendiente del río Huallaga en San Rafael aguas arriba



Nota. Se muestra la pendiente del río Huallaga para San Rafael aguas arriba. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

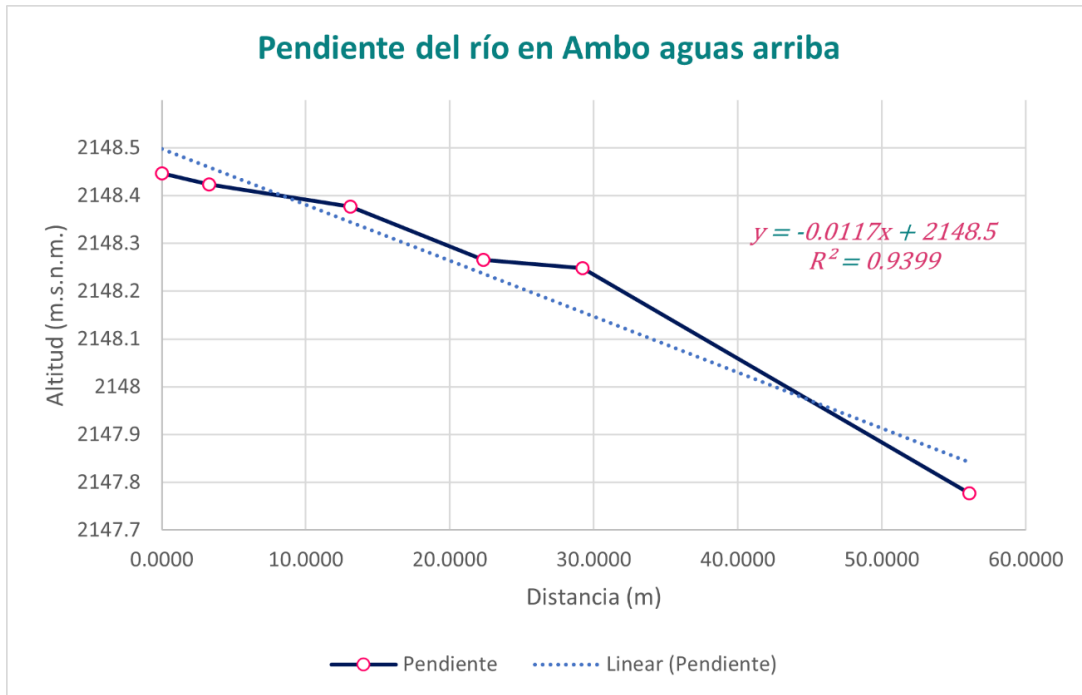
Figura 48
Pendiente del río Huallaga en San Rafael aguas abajo



Nota. Se muestra la pendiente del río Huallaga para San Rafael aguas abajo. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Figura 49

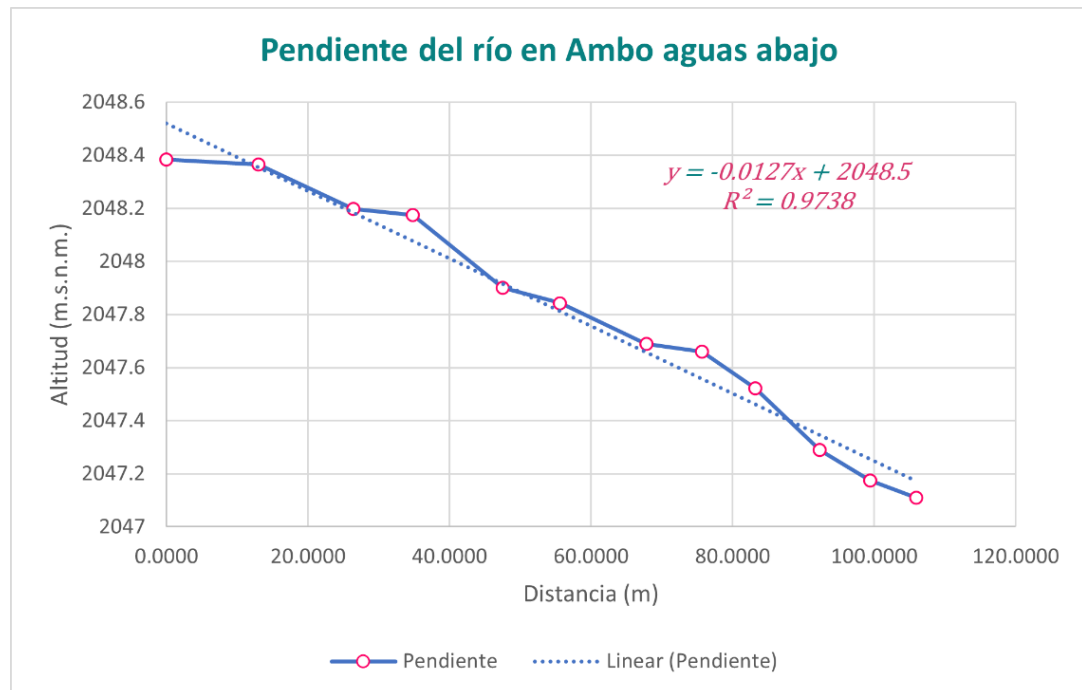
Pendiente del río Huallaga en Ambo aguas arriba



Nota. Se muestra la pendiente del río Huallaga para San Ambo aguas arriba. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Figura 50

Pendiente del río Huallaga en Ambo aguas abajo



Nota. Se muestra la pendiente del río Huallaga para Ambo aguas abajo. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Los resultados obtenidos de la excavación de las trampas de fondo, los cuales fueron medidos con un levantamiento topográfico tanto su perfil longitudinal como el cálculo del volumen se muestran en la siguiente tabla de resumen.

Tabla 69

Dimensiones y volumen de las trampas de carga en San Rafael y Ambo

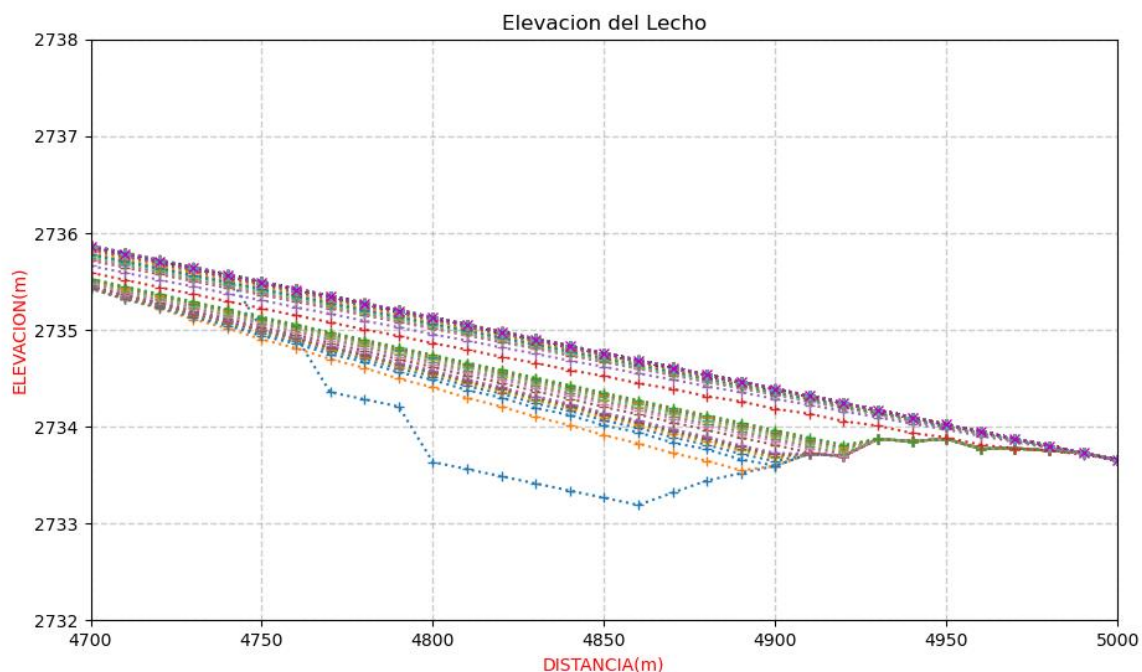
Descripción	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
San Rafael US	69	8	1.50	354.62
San Rafael DS	20	8	1.50	85.24
Ambo US	29	16	2.75	797.87
Ambo DS	54	24	2.58	617.96

Nota. Dimensiones obtenidas durante los ensayos en campo de la CITA. Autorización del CITA - UTEC en el Anexo 05.

Los resultados de la cuantificación de sedimentos de fondo transportados se muestran a continuación para los tres tipos de D50 modelados, los cuales son el valor mínimo, máximo y promedio.

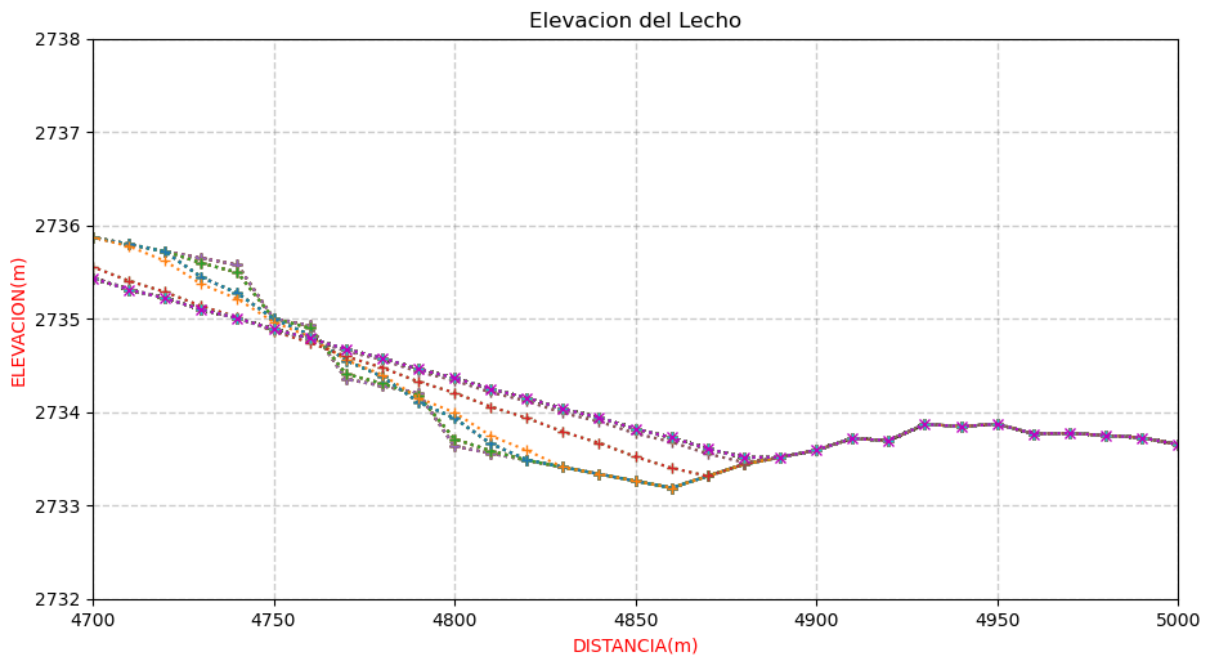
Figura 51

Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo SRUS



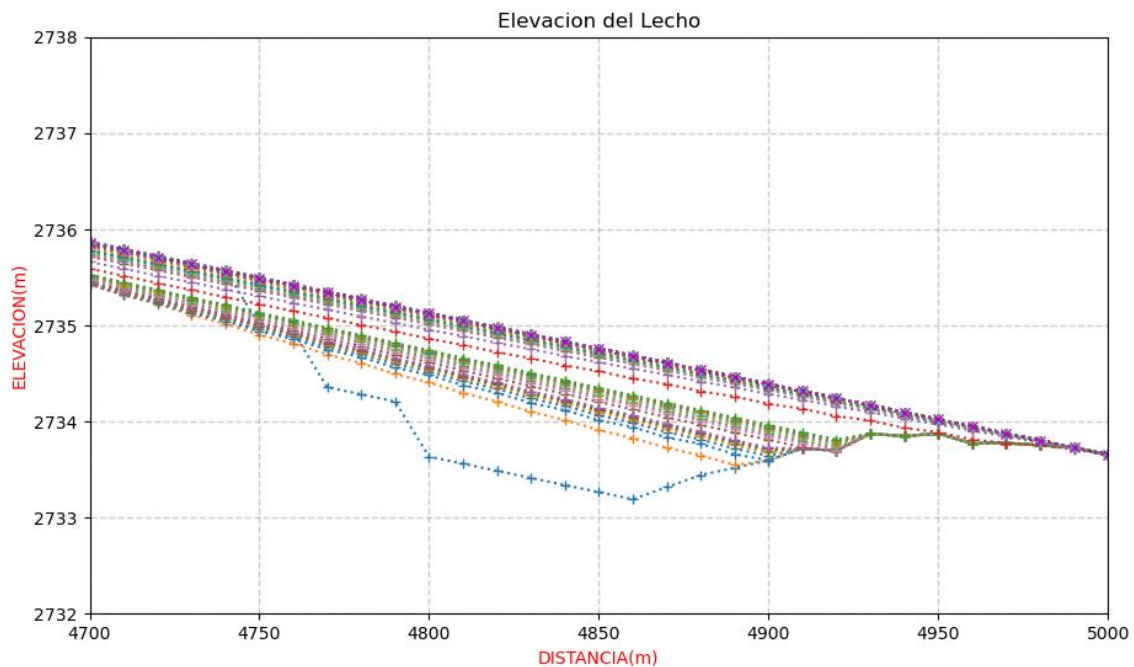
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 mínimo para un periodo de un año en San Rafael aguas arriba.

Figura 52
Llenado de la trampa de fondo D50 máximo SRUS



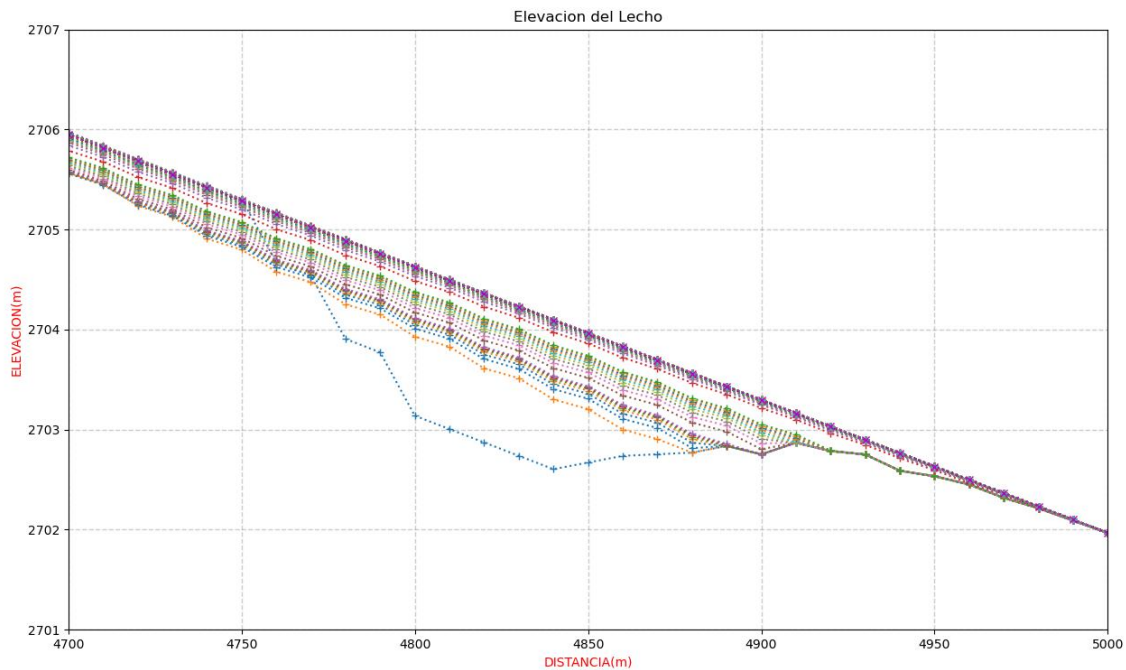
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 máximo para un periodo de un año en San Rafael aguas arriba.

Figura 53
Llenado de la trampa de fondo D50 promedio SRUS



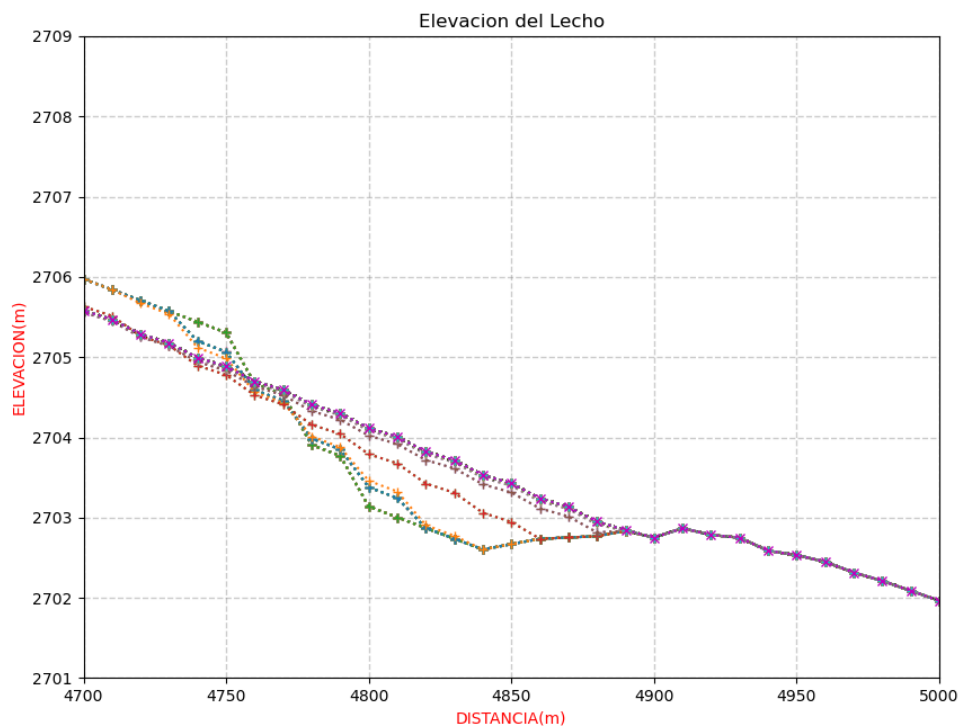
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 promedio para un periodo de un año en San Rafael aguas arriba.

Figura 54
Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo SRDS



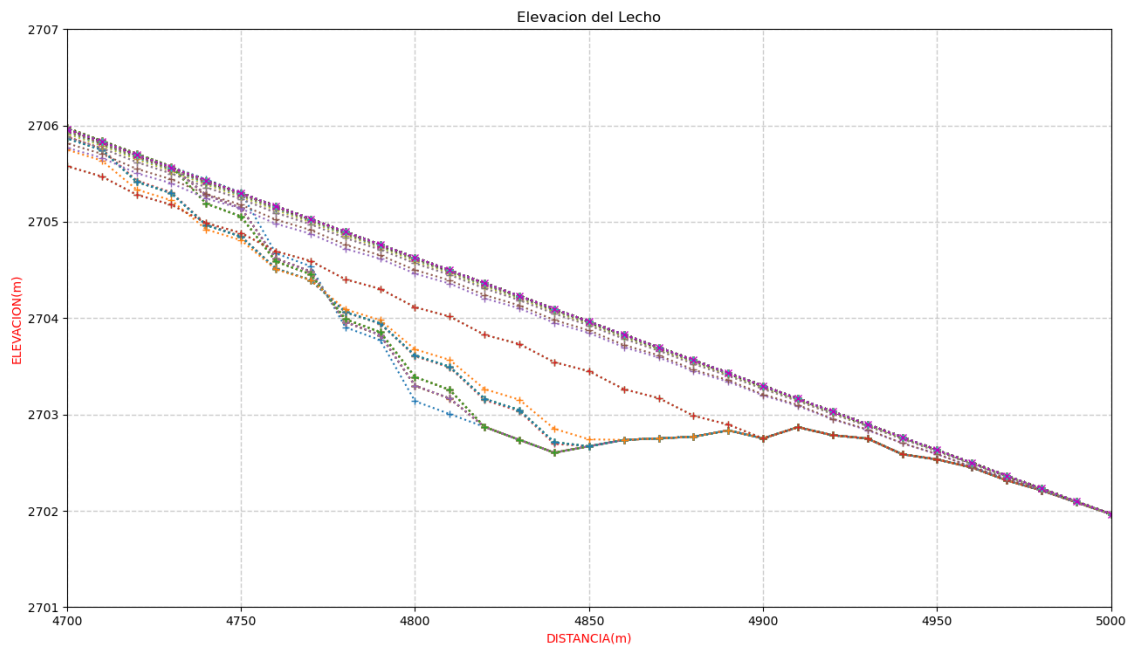
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 mínimo para un periodo de un año en San Rafael aguas abajo.

Figura 55
Llenado de la trampa de fondo D50 máximo SRDS



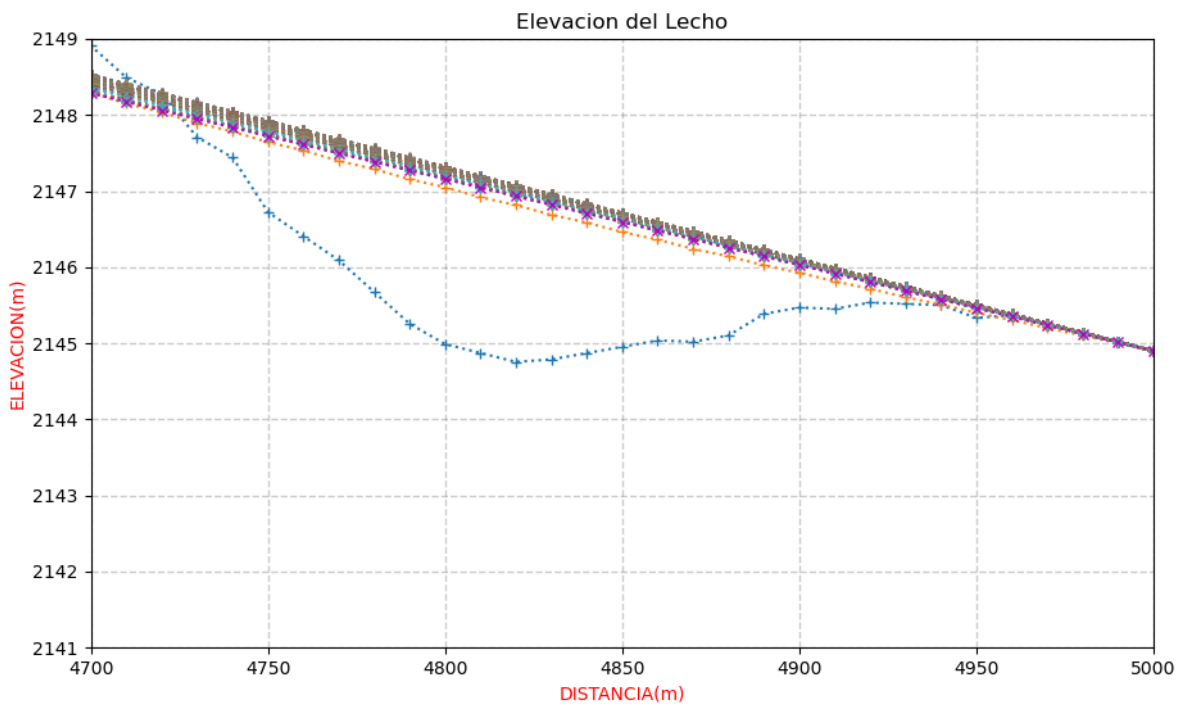
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 máximo para un periodo de un año en San Rafael aguas abajo.

Figura 56
Llenado de la trampa de fondo D50 promedio SRDS



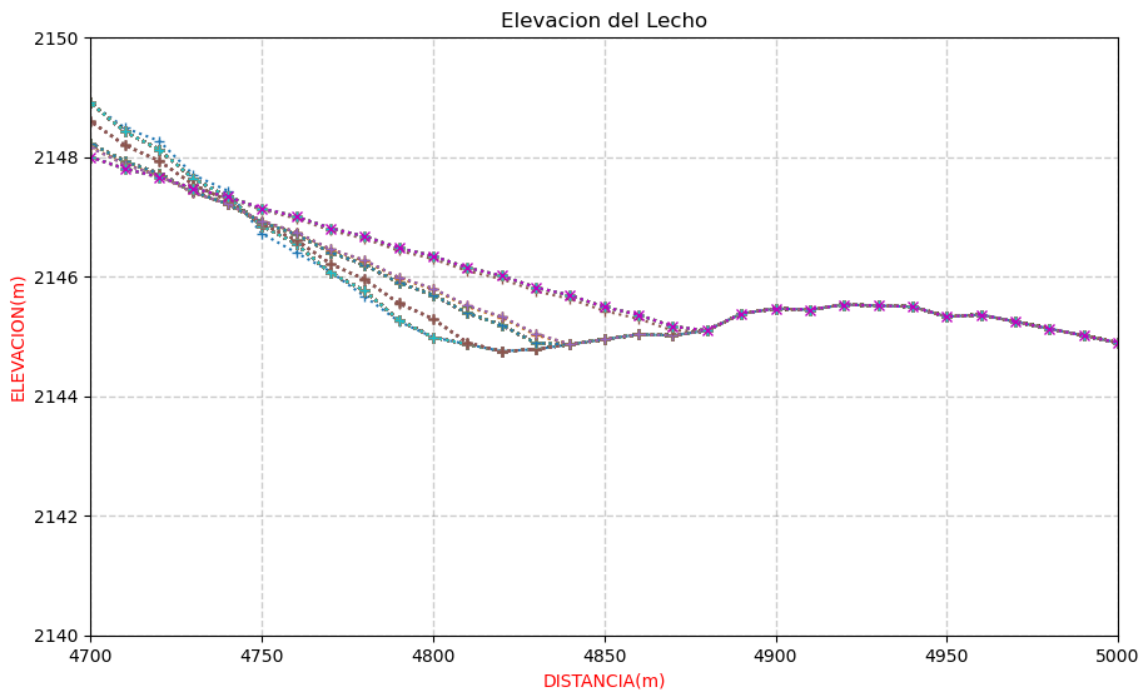
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 promedio para un periodo de un año en San Rafael aguas abajo.

Figura 57
Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo AMUS



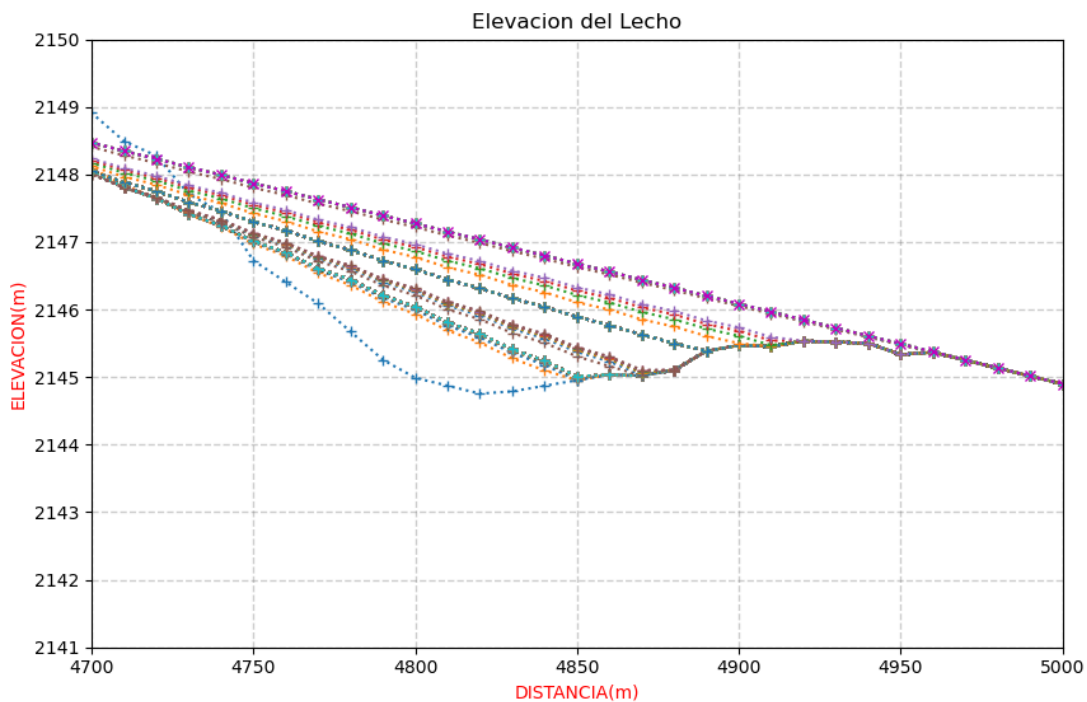
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 mínimo para un periodo de un año en Ambo aguas arriba.

Figura 58
Llenado de la trampa de fondo D50 máximo AMUS



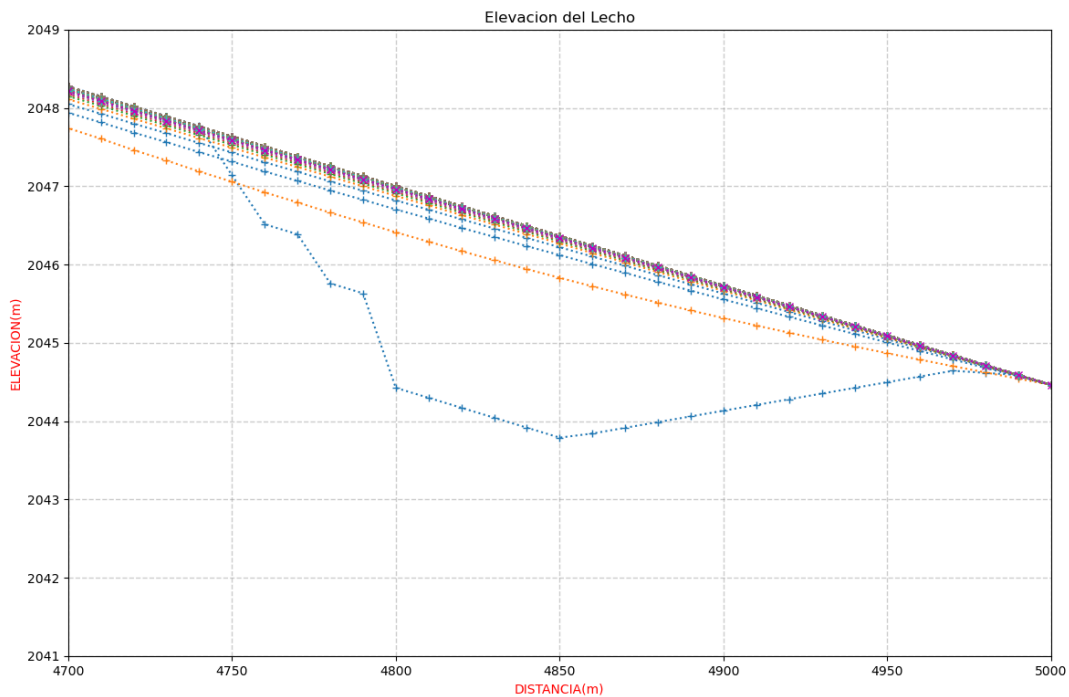
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 máximo para un periodo de un año en Ambo aguas arriba.

Figura 59
Llenado de la trampa de fondo D50 promedio AMUS



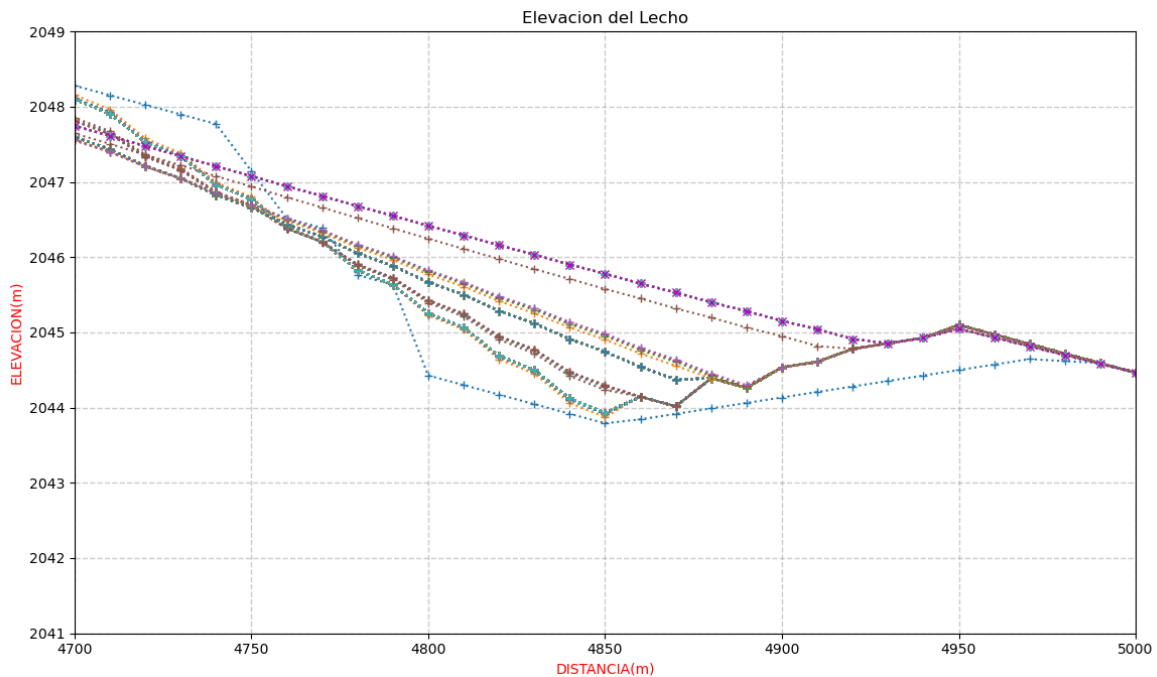
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 promedio para un periodo de un año en Ambo aguas arriba.

Figura 60
Llenado de la trampa de fondo D50 mínimo AMDS



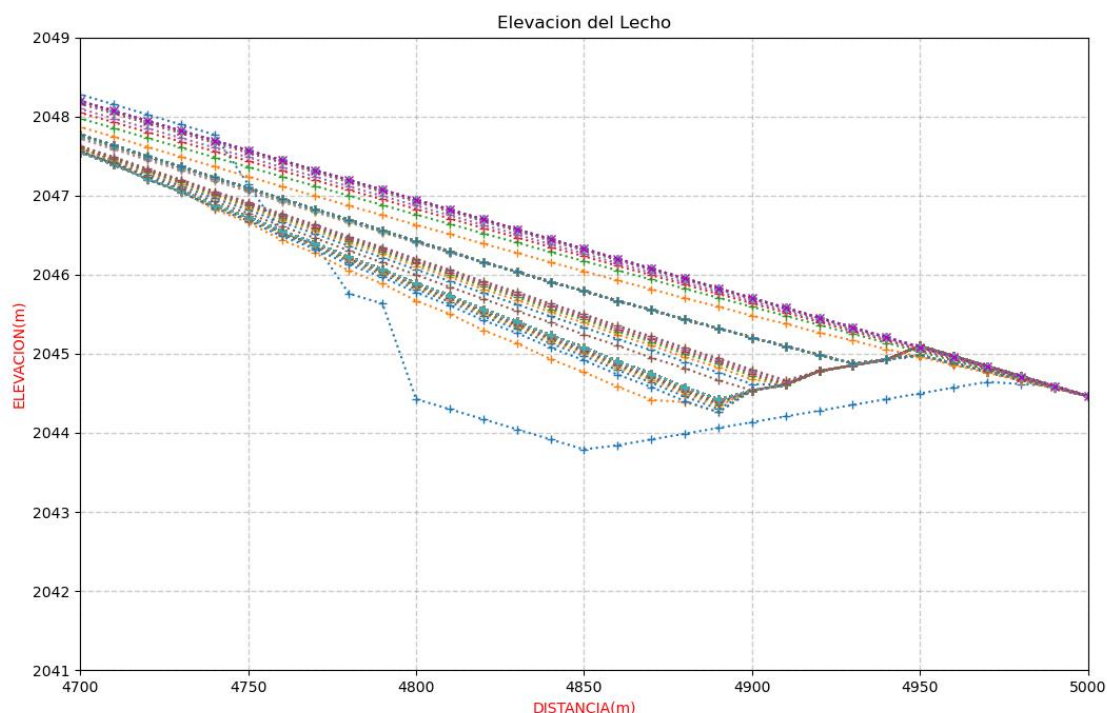
Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 mínimo para un periodo de un año en Ambo aguas abajo.

Figura 61
Llenado de la trampa de fondo D50 máximo AMDS



Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 máximo para un periodo de un año en Ambo aguas abajo.

Figura 62
Llenado de la trampa de fondo D50 promedio AMDS



Nota. Se muestra que el transporte de sedimentos de fondo completa el llenado de la trampa de carga de sedimentos de fondo, haciendo uso del modelo numérico con un D50 promedio para un periodo de un año en Ambo aguas abajo.

Los resultados obtenidos del modelamiento numérico se expresan en la tasa de transporte de sedimentos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 70
Tasa de transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo

Descripción	qt con D50 Mínimo	qt con D50 Promedio	qt con D50 Máximo
San Rafael US	15.9222	3.4535	0.0011
San Rafael DS	28.8701	1.9313	0.0044
Ambo US	52.6603	1.9663	0.0034
Ambo DS	37.3738	2.1445	0.1213

Nota. Se muestran los resultados obtenidos en forma de resumen de la tasa de transporte de sedimentos qt (m^2/s) de fondo del río Huallaga.

Con la tasa de transporte de sedimentos de fondo calculamos la cantidad de sedimentos de fondo que son transportados en el río Huallaga, en un periodo de un año los cuales fueron capaces de llenar las trampas de carga de sedimentos de fondo que se realizaron, esto tanto en toneladas por año como en metros cúbicos por año.

Tabla 71*Cantidad de Ton/año del transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo*

Descripción	Gt con D50 Mínimo	Gt con D50 Promedio	Gt con D50 Máximo
San Rafael US	886.0688	192.1890	0.0601
San Rafael DS	1836.1363	122.8312	0.2779
Ambo US	3349.1937	125.0568	0.2188
Ambo DS	3169.2945	181.8505	10.2850

Nota. Se muestran los resultados obtenidos en forma de resumen de la cantidad del transporte de sedimentos de fondo del río Huallaga, *Gt (Ton/año)*.

Tabla 72*Cantidad de m³/año del transporte de sedimentos de fondo en San Rafael y Ambo*

Descripción	Gt con D50 Mínimo	Gt con D50 Promedio	Gt con D50 Máximo
San Rafael US	334.3656	72.5242	0.0227
San Rafael DS	692.8816	46.3514	0.1049
Ambo US	1263.8467	47.1912	0.0826
Ambo DS	1195.9602	68.6228	3.8811

Nota. Se muestran los resultados obtenidos en forma de resumen de la cantidad del transporte de sedimentos de fondo del río Huallaga, *Gt (m³/año)*.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados de los ensayos de campo

Del análisis estadístico realizado en el ítem de “tabulaciones y análisis de datos” para las variables que eran necesarios para determinar los parámetros estadísticos que nos permita entender y seleccionar los datos adecuadamente los cuales se utilizaron en el procesamiento para el cálculo de los objetivos de la investigación, y con esto determinar las hipótesis planteadas y realizar la respectiva contrastación de este mediante el análisis de varianza ANOVA con el cual se determinó si la hipótesis planteada es aceptada o no. Bajo este esquema se procedió a obtener en primer lugar las hipótesis específicas pues éstas son necesarias para la determinación de la hipótesis general.

La determinación del hidrograma de caudales era necesario para poder evaluar si esta puede generar el movimiento necesario para el transporte de sedimentos de fondo, para lo cual se tiene los datos obtenidos mediante el método del LSPIV. De los hidrogramas de caudales obtenidos se extrajo el caudal promedio que es la representación del caudal que se tendría por día en cada año siendo este un valor entre 7.62 a 13.98 m^3/s para los tramos de San Rafael y Ambo.

La distribución granulométrica de los sedimentos de fondo del lecho del río Huallaga era necesario determinar para obtener los D50, así como de saber su variabilidad en los tramos evaluados de San Rafael y Ambo con el fin de comprender más su naturaleza. Los valores resultantes del D50 promedio oscilan entre 56.20 mm a 120.89 mm, la variabilidad de este fue comprobada mediante el análisis de ANOVA y el método de Tukey, el cual determino que la distribución granulométrica tiene mucha variabilidad en los tramos de San Rafael y Ambo.

La clasificación en porcentajes de los sedimentos de fondo se realizó mediante la clasificación granulométrica usando GRADISTAT, esto era necesario determinar para poder saber en qué porcentaje se encuentra la grava, arena y limo, que son los elementos más importantes al analizar el transporte de sedimentos de fondo, así mismo como el material predominante es la grava gruesa, pues son la representación de los sedimentos de fondo en su mayoría en las zonas andinas, por ello se decidió hacer el análisis con los datos ya obtenidos previamente para tener un porcentaje de lo visto en campo. La clasificación granulométrica determino que el lecho del rio en su mayoría es de grava gruesa con un valor promedio de porcentaje de 89.02%.

La cuantificación del transporte de sedimentos de fondo es la hipótesis general para determinar de esta investigación, por ello con los datos obtenidos anteriormente en las hipótesis específicas se procedió a realizar el debido calculo haciendo uso de un modelamiento numérico en una dimensión, con las ecuaciones de Parker (2004), los valores obtenidos fueron contrastados y aceptados con el análisis de la contrastación de hipótesis, teniendo así un valor promedio de 58.67 m³ por año con un valor de D50 promedio.

4.2. Contrastación de hipótesis

La contrastación de las hipótesis se analiza y evalúa con los resultados que se obtuvieron después de la investigación realizada. Para ello se realizó el análisis ANOVA de un solo factor. Esto se realizó mediante Hojas Excel asumiendo que el valor de la confianza es de un 95%, por ende, para aceptar o rechazar la hipótesis se basara en el valor de su significancia (α). Donde: si $\alpha > 0.05$, se Acepta H_0 con un 95% de confianza por lo tanto las medias serian iguales y si $\alpha < 0.05$, Rechazo H_0 con un 95% de confianza, por lo tanto, se aceptaría la hipótesis alterna o planteada en la investigación.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \dots \mu_k = \mu$$

$$H_a: \text{Alguna distinta}$$

4.2.1. Contrastación de la hipótesis general

Para la hipótesis general se tiene lo siguiente:

Hipótesis alterna (H_a):

La cantidad del transporte de sedimentos de fondo es mayor de 40 m³ al año en el Río Huallaga en el tramo de San Rafael y Ambo.

Hipótesis nula (H_0):

La cantidad del transporte de sedimentos de fondo es menor de 40 m³ al año en el Río Huallaga en el tramo de San Rafael y Ambo.

$$H_a: \mu_{CR} > \mu_{HG}$$

$$H_0: \mu_{CR} = \mu_{HG}$$

Para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtuvo la siguiente tabla para ANOVA de un solo factor.

Tabla 73

Resultado del análisis ANOVA para la cantidad de transporte de sedimentos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (α)	Valor crítico de F
Entre grupos	697.318	1.000	697.318	7.283	0.036	5.987
Dentro del grupo	574.506	6.000	95.751			
Total	1271.824	7.000				

Nota. Se muestran los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para la cuantificación de los sedimentos transportados.

De acuerdo con el nivel de significancia obtenido de $0.036 < 0.05$ del análisis ANOVA se rechaza H_0 y se acepta H_a que es la hipótesis de investigación, la cual considera que las medias de los grupos no son estadísticamente iguales.

Conclusión: En base a la cantidad de sedimentos transportados resultantes y de acuerdo con el nivel de significancia de 0.036 siendo menor que 0.05 con una confiabilidad de 95%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que es la hipótesis de investigación: La cantidad del transporte de sedimentos de fondo es mayor de 40 m³ al año en el Río Huallaga en el tramo de San Rafael y Ambo con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

4.2.2. Contrastación de las hipótesis específicas

Hipótesis alterna H_{a1} :

El caudal promedio del Río Huallaga es mayor a 6 m³/s en el tramo de San Rafael y Ambo

Hipótesis nula H_{01} :

El caudal promedio del Río Huallaga no es mayor a 6 m³/s en el tramo de San Rafael y Ambo

$$H_a: \mu_{CR1} > \mu_{HE1}$$

$$H_0: \mu_{CR1} = \mu_{HE1}$$

Para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtuvo la siguiente tabla para ANOVA de un solo factor.

Tabla 74
Resultado del análisis ANOVA para los caudales

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (α)	Valor crítico de F
Entre grupos	675.002	1	675.002	9.776	0.002	3.906
Dentro del grupo	10081.029	146	69.048			
Total	10756.031	147				

Nota. Se muestran los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para los caudales obtenidos para los años 2019 – 2020.

De acuerdo con el nivel de significancia obtenido de $0.002 < 0.05$ del análisis ANOVA se rechaza H_0 y se acepta H_a que es la hipótesis de investigación, la cual considera que las medias de los grupos no son estadísticamente iguales.

Conclusión: En base a los caudales analizados y de acuerdo con el nivel de significancia de 0.002 siendo menor que 0.05 con una confiabilidad de 95%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que es la hipótesis de investigación: El caudal promedio del Río Huallaga es mayor a $7 \text{ m}^3/\text{s}$ en el tramo de San Rafael y Ambo con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Hipótesis alterna H_{a2} :

El diámetro nominal D50 es muy variable en el lecho del río Huallaga en los tramos de san Rafael y Ambo.

Hipótesis nula H_{02} :

El diámetro nominal D50 no es muy variable en el lecho del río Huallaga en los tramos de san Rafael y Ambo.

$$H_a: \mu_{CR2} > \mu_{HE2}$$

$$H_0: \mu_{CR2} = \mu_{HE2}$$

Para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtuvo la siguiente tabla para ANOVA de un solo factor.

Tabla 75
Resultado del análisis ANOVA el diámetro D50

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (α)	Valor crítico de F
Entre grupos	72318.7450	3	24106.2483	4.4785	0.0061	2.7318
Dentro del grupo	387549.0443	72	5382.6256			
Total	459867.7894	75				

Nota. Se muestran los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para los diámetros D50 en el río Huallaga.

De acuerdo con el nivel de significancia obtenido de $0.0061 < 0.05$ del análisis ANOVA se rechaza H_0 y se acepta H_a que es la hipótesis de investigación, la cual considera que las medias de los grupos no son estadísticamente iguales. Asimismo, se hizo las comparaciones múltiples usando el método de Tukey de lo cual se tiene que:

- En el análisis de los sedimentos entre San Rafael aguas arriba - Ambo aguas abajo, San Rafael aguas abajo – Ambo aguas arriba, San Rafael aguas abajo – Ambo aguas abajo, Ambo aguas arriba – Ambo aguas abajo, se tiene valores de significancia de 0.984, 0.999, 0.079, 0.095 respectivamente para cada uno de los pares, los cuales son mayores a 0.005 lo que nos da a entender que existe una igualdad estadística de medias para los D50 analizados. Sin embargo, para San Rafael aguas arriba – San Rafael aguas abajo y San Rafael aguas arriba y Ambo aguas arriba se tiene valores de significancia de 0.032, 0.040 respectivamente para cada uno que son menores a 0.05 por lo cual se rechaza la hipótesis nula que considera que las medias de los grupos son iguales.

Conclusión: En base a los caudales analizados y de acuerdo con el nivel de significancia de 0.0061 siendo menor que 0.05 con una confiabilidad de 95%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que es la hipótesis de investigación: El diámetro nominal D50 es muy variable en el lecho del río Huallaga en los tramos de San Rafael y Ambo con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Hipótesis alterna H_{a3} :

Los porcentajes de clasificación de los sedimentos de fondo son mayores a 86% de grava gruesa en el lecho del río Huallaga para el tramo de San Rafael y Ambo.

Hipótesis nula H_{03} :

Los porcentajes de clasificación de los sedimentos de fondo no son mayores a 86% de grava gruesa en el lecho del río Huallaga para el tramo de San Rafael y Ambo.

$$H_a: \mu_{CR3} > \mu_{HE3}$$

$$H_0: \mu_{CR3} = \mu_{HE3}$$

Para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtuvo la siguiente tabla para ANOVA de un solo factor.

Tabla 76

Resultado del análisis ANOVA para los porcentajes de grava

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (α)	Valor crítico de F
Entre grupos	0.0346	1	0.0346	12.9176	0.0004	3.9042
Dentro del grupo	0.4014	150	0.0027			
Total	0.4360	151				

Nota. Se muestran los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para los porcentajes de grava del lecho del río.

De acuerdo con el nivel de significancia obtenido de $0.0004 < 0.05$ del análisis ANOVA se rechaza H_0 y se acepta H_a que es la hipótesis de investigación, la cual considera que las medias de los grupos no son estadísticamente iguales.

Conclusión: En base a los caudales analizados y de acuerdo con el nivel de significancia de 0.0004 siendo menor que 0.05 con una confiabilidad de 95%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que es la hipótesis de investigación: Los porcentajes de clasificación de los sedimentos de fondo son mayores a 86% de grava gruesa en el lecho del río Huallaga para el tramo de San Rafael y Ambo con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las cuales se llegó durante la investigación son las que se muestran a continuación:

- ✓ En esta investigación se utilizó los datos de las campañas realizadas el 2019 y 2020 por parte del CITA UTEC, con lo cual los datos obtenidos para el caudal promedio oscilan entre los $7.62 \text{ m}^3/\text{s}$ y $13.98 \text{ m}^3/\text{s}$ para los tramos evaluados de San Rafael y Ambo.
- ✓ La distribución granulométrica del lecho del río Huallaga tiene un diámetro nominal promedio oscilando entre $D50_{promedio} = 56.20 \text{ mm} - 120.89 \text{ mm}$, así mismo los sedimentos tienen una variabilidad en los tramos analizados, debido a en gran medida a la presencia de ríos intermitentes, como huaicos, los cuales al momento de ingresar a la confluencia del río generan que haya más de un tipo de tamaño de sedimentos característicos, esto se ha visto reflejado en las curvas granulométricas presentadas unitariamente y en conjunto.
- ✓ La clasificación granulométrica en porcentaje de los sedimentos referidos a su contenido de grava, arena y limo, nos dan como resultados que es de un tipo de grava muy gruesa con un porcentaje promedio de grava gruesa de 89.02 %, arena con un porcentaje promedio de 10.76 % y el limo con un porcentaje promedio de 0.11%.
- ✓ La cuantificación del transporte de sedimentos de fondo se realizó en base a un modelamiento numérico de una dimensión con un algoritmo en Python para poder evaluar a través del espacio y tiempo en iteraciones, la variación del lecho del río teniendo el perfil longitudinal de las trampas de fondo, el hidrograma de caudales, la pendiente resultando así un valor de: $58.67 \text{ m}^3/\text{año}$ para un $D50_{promedio}$, $1.02 \text{ m}^3/\text{año}$ para un $D50_{máximo}$ y $871.76 \text{ m}^3/\text{año}$ para un el $D50_{mínimo}$.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

Las recomendaciones que se llegó a concebir durante la investigación son las que se muestran a continuación:

- ✓ Se sugiere que para los hidrogramas de caudales se tenga más datos para un mejor análisis en cada mes y año, esto para que al momento de hacer un modelamiento numérico tenga una mayor exactitud y se pueda realizar comparaciones más certeras a la realidad. Así mismo, se sugiere utilizar métodos como el LSPIV que no son intrusivos cuyo coste puede ser menor al alquiler de un equipo durante todo el proceso de la investigación a realizar.
- ✓ Se recomienda que al momento de analizar la granulometría de un lecho de río con muestreos de áreas se trate de usar una cámara de alta resolución, así como evitar que los sedimentos estén unos encima de otros, o que su superficie está cubierta de arena y/o limo, pues estos hacen que se genere error al momento del procesamiento con un software granulométrico, en el caso de darse ello es preferible usar un software de procesamiento y limpieza de imágenes fotográficas.
- ✓ Para la clasificación granulométrica usando GRADISTAT se recomienda que el porcentaje entre las mallas retenidas o valores phi, estén separadas en diversos diámetros, para que los análisis de curtosis y asimetría tengan mayor precisión, obteniéndose mejores resultados de clasificación de muestras analizadas.
- ✓ Se recomienda hacer uso de algoritmos de programación como Python o R para la evaluación de los recursos hídricos por la capacidad que tiene para analizar los datos, que van desde el análisis de datos hasta la automatización mediante redes neuronales. También porque se puede evaluar y analizar los resultados durante cada procedimiento del modelamiento, el cual nos es útil saber para que al

momento de utilizar un software entendamos que variables son las mas determinantes y con ello poder realizar una calibración con los datos que se tiene en un determinado proyecto, puesto que en la mayoría de los casos los datos obtenidos son incompletos.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- Aiken, L. R. (2003). *Tests psicológicos y evaluación* (11a. ed.). Pearson Educación.
- Aponte Rosales, C. J. (2018). Factibilidad de aplicar la metodología de descolmatación UDEP en el embalse Gallito Ciego [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura]. In *Repositorio Institucional PIRHUA*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3689>
- Arroyo Morales, A. (2020). *Metodología de la investigación en las ciencias empresariales* (1a ed.). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA), Consorcio Typsa - Tecnoma - Engecorps, & Grupo Inclam. (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de Huallaga*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/19>
- Baena Paz, G. M. (2017). *Metodología de la investigación: Serie integral por competencias* (3a ed.). Grupo Editorial Patria.
- Basile, P. A. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales* (UNR Editora, Ed.; 1a ed.). Universidad Nacional de Rosario. https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2019/09/TSyMRA_Pedro_A_Basile.pdf
- Bathurst, J. C. (2000). Medición del transporte de sedimentos y curvas de descarga de sedimentos. *EPIC FORCE Project. Evidence-Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt*. [https://research.ncl.ac.uk/epicforce/assets/EPIC FORCE Capacity Building Sediment.pdf](https://research.ncl.ac.uk/epicforce/assets/EPIC_FORCE_Capacity_Building_Sediment.pdf)
- Bedient, P. B., Huber, W. C., & Vieux, B. E. (2013). *Hydrology and floodplain analysis [Análisis de la hidrología y las llanuras de inundación]* (5a ed.). Pearson Education.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3a ed.). Pearson Educacion de Colombia.
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [GRADISTAT: un paquete de distribución granulométrica y estadística para el análisis de

- sedimentos no consolidados]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237–1248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.261>
- Bonilla Galindo, O. R. (2014). Determinación del transporte de sedimentos en suspensión de fondo y total en el puente grande del río de Coata Puno [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. In *Repositorio Institucional UNAP*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4511>
- Borja, M. (2016). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil*. Chiclayo.
- Bunte, K., & Abt, R. S. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring [Muestreo de las distribuciones granulométricas superficiales y subsuperficiales en arroyos de grava y cantos rodados para el análisis del transporte de sedimentos, la hidráulica y el control del lecho del arroyo]* (1a ed.). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-74>
- Centro de investigación y tecnología del agua (CITA). (2021). Reporte de Mediciones - Upper Amazon: Mediciones hechas en octubre del 2019 y noviembre 2020. In *Universidad de Ingeniería y tecnología (UTECH)*. Barranco, Lima, Perú.
- Cervantes Córdoba, A., Ferreira da Silva, A. M., Guzmán Arias, I., & Villagra Mendoza, K. (2016). Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(6), 86. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i6.2905>
- Chang, M. (2013). *Forest Hydrology: An introduction to water and forests [Hidrología forestal: Una introducción al agua y a los bosques]* (3a ed.). CRC press.
- Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction [La Hidráulica del Flujo en canal abierto: Una introducción]* (2a ed.). Elsevier.
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología: Para estudiantes de Ingeniería Civil* (1a ed.). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>

- Chieng, N., & Wan, Z. (1999). *Mechanics of sediment transport [Mecánica del transporte de sedimentos]*. American Society of Civil Engineers.
- Cisneros Estupiñan, M. (2012). *Como elaborar trabajos de grado (2da ed.)*. Ecoe Ediciones.
- Córdova Mendoza, D. P. (2017). Aplicación De La Simulación Hidrológica E Hidráulica Con Sistemas De Información Geográfica Para Identificar Las Áreas De Inundación Del Río Huallaga En El Tramo Huaylla - Ambo, 2017 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]. In *Repositorio Institucional Unheval*. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/1534>
- Cruz Flores, G., & Guerra Hernández, E. A. (2017). *Ecosistemas ribereños de montaña: Descripción y estudio (1a ed.)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Detert, M. (2014). *BASEGRAIN [Software de Computador] (Version 2.2)*. ETH Zurich, Prof. R. Boes. <https://basement.ethz.ch/download/tools/basegrain.html>
- Detert, M. (2020). *BASEGRAIN [Software de Computador] (Open-Source Software)*. ETH Zurich, Prof. R. Boes. <https://doi.org/https://doi.org/10.5905/ethz-1007-347>
- Detert, M., & Weitbrecht, V. (2011). Automatische Objekterkennung zur Bestimmung der Korngrößenverteilung von Flusssohlen [Reconocimiento automático de objetos para la determinación Distribución granulométrica de los lechos de los ríos]. In *Dynamik des Sedimenthaushaltes von Wasserstraßen [Dinámica del balance de sedimentos de las vías fluviales] 14. Gewässermorphologisches Kolloquium am 09./10. November 2011 in Koblenz* (pp. 67–76). Bundesanstalt für Gewässerkunde. https://doi.org/10.5675/BfG_Veranst_2012.3
- Detert, M., & Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN [Guía del usuario para el análisis de imágenes gravelométricas de BASEGRAIN]. In S. Fukuoka, H. Nakagawa, T. Sumi, & H. Zhang (Eds.), *Advances in River Sediment Research [Avances en la investigación de los sedimentos fluviales] (1a ed., pp. 1789–1796)*. CRC press. https://www.researchgate.net/publication/293609860_User_guide_to_gravelometric_image_analysis_by_BASEGRAIN

- Dysarz, T. (2018). Application of Python Scripting Techniques for Control and Automation of HEC-RAS Simulations [Aplicación de técnicas de scripting en Python para el control y la automatización de simulaciones HEC-RAS]. *Water*, 10(1382), 2–25. <https://doi.org/10.3390/w10101382>
- Enríquez Beck, J. A. (2016). Estado hidrológico, hidráulico y sedimentológico de los embalses en la Región Piura [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura]. In *Repositorio Institucional PIRHUA*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2569>
- Escauriaza, C., Paola, C., & Voller, V. R. (2017). Computational Models of Flow, Sediment Transport and Morphodynamics in Rivers [Modelos computacionales de flujo, transporte de sedimentos y Morfodinámica de los ríos]. *Gravel-Bed Rivers: Processes and Disasters*, 1–31.
- Espinoza Montes, C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica* (2a ed.). Soluciones Graficas.
- Fitzpatrick, F. A. (2017). Watershed Geomorphological Characteristics [Geomorfología de la cuenca Características]. In V. P. Singh (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology [Manual de hidrología aplicada]* (2a ed., pp. 433–444). Mc Graw Hill Education.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters [Barra del río Brazos [Texas]; un estudio sobre la importancia de los parámetros granulométricos]. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- García, M. H. (2006). Sediment Transport and Morphodynamics [Sediment Transport and Morphodynamics]. In M. H. García (Ed.), *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice [Ingeniería de la sedimentación: Procesos, mediciones, Modelización y práctica]* (pp. 21–163). American Society of Civil Engineers.
- García, M. H. (2008). Sediment Transport and Morphodynamics [Transporte de sedimentos y morfodinámica]. In M. H. García (Ed.), *Sedimentation*

- Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice [Ingeniería de la sedimentación: Procesos, Mediciones, Modelización y práctica]* (pp. 21–164). American Society of Civil Engineers.
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., & Natch, R. J. (2004). *Stream hydrology: An Introduction for ecologists [Hidrología de los arroyos: Una introducción para ecologistas]* (2a ed.). John Wiley and Sons.
- Graham, D. J., Reid, I., & Rice, S. P. (2005). Automated Sizing of Coarse-Grained Sediments: Image-Processing Procedures [Dimensionamiento automatizado de sedimentos de grano grueso: Procedimientos de procesamiento de imágenes]. *Mathematical Geology*, 37(1), 1–28.
- Graham, D. J., Rice, S. P., & Reid, I. (2005). A transferable method for the automated grain sizing of river gravels [Un método transferible para la granulometría automatizada de las gravas fluviales]. *Water Resources Research*, 41(7), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2004WR003868>
- Graham, D. J., Rollet, A. J., Piégay, H., & Rice, S. P. (2010). Maximizing the accuracy of image-based surface sediment sampling techniques [Maximización de la precisión de las técnicas de muestreo de sedimentos superficiales basadas en imágenes]. *Water Resources Research*, 46(2), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2008WR006940>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research [Paradigmas en pugna en la investigación cualitativa]. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research [Manual de investigación cualitativa]* (pp. 105–117). Sage.
- Hashim, S., Talib, S., & Abustan, M. (2018). Analysis of Physical Distribution of Sediment at Sembrong Reservoir Using GRADISTAT [Análisis de la distribución física de los sedimentos en el embalse de Sembrong mediante GRADISTAT]. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.30), 156–159. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.30.22096>.
- Hassanzadeh, Y. (2012). Hydraulics of Sediment Transport [Hidráulica del transporte de sedimentos]. In J. Zheng (Ed.), *Hydrodynamics - Theory and Model [Hidrodinámica - Teoría y modelo]* (1a ed., pp. 23–59). InTech.

- Heredia Ligorria, A. I. (2018). Caracterización del transporte de sedimentos en un tramo del río Tercero (Ctalamochita) utilizando tecnología acústica doppler [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba]. In *Repositorio Digital UNC*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6475>
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Mc Graw Hill* (Vol. 1).
- Huanca Huaraca, S. M. (2019). Influencia geomorfológica e hidrodinámica del Río Huallaga en la caracterización del transporte de sedimentos entre Ambo y Huánuco [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]. In *Repositorio Institucional Unheval*. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/5323>
- Hudson, N. W. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. *Silsoe Associates Amphill FAO, No. 68*(92-5-303406–8). <http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s00.htm>
- Iroume, A. (2003). Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la Cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile. *Revista Bosque, Vol. 24*(0717–9200), 125–135. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000100010>
- Jong, C. (1995). *Temporal and spatial interactions between river bed roughness, geometry, bedload transport and flow hydraulics in mountain streams - examples from Squaw Creek (Montana, USA) and Lainbach/Schmiedlaine (Upper Bavaria, Germany) [Interacciones temporales y espaciales entre la rugosidad del lecho del río, la geometría, el transporte de la carga del lecho y la hidráulica del flujo en los arroyos de montaña - ejemplos de Squaw Creek (Montana, EE.UU.) y Lainbach/Schmiedlaine (Alta Baviera, Alemania)]* (1a ed.). Berliner Geographische Abhandlungen. <https://doi.org/https://doi.org/10.23689/fidgeo-3273>
- Julien, P. Y. (2018). *River Mechanics [Mecánica fluvial]* (2a ed.). Cambridge University Press.

- Krumbein, W. C. (1938). Size frequency distributions of sediments and the normal phi curve [Distribuciones de frecuencia de tamaño de los sedimentos y la curva normal phi]. *Journal of Sedimentary Research*, 8(3), 84–90.
- Krumbein, W. C. (1941). Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles [Medición y significado geológico de la forma y redondez de las partículas sedimentarias]. *Journal of Sedimentary Research*, 11(2), 64–72.
- Krumbein, W. C., & Pettijohn, F. J. (1938). *Manual of sedimentary petrography [Manual de petrografía sedimentaria]*. Appleton-Century-Crofts: New York.
- Lane, E. W. (1955). The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering [La importancia de la morfología fluvial en la ingeniería hidráulica]. *American Society of Civil Engineers*, Vol. 81(745), 1–15.
<https://semspub.epa.gov/work/01/554355.pdf>
- Leopold, L. B., Gordon Wolman, M., & Miller, J. P. (1992). *Fluvial processes in geomorphology [Procesos fluviales en geomorfología]* (1a ed.). Dover Publication.
- López Alonso, R. (2005). Características hidráulicas y geomorfológicas de ríos de montaña. *Revista Del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, Cimbra No(1)*, 20–39. <http://hdl.handle.net/10459.1/46509>
- Marco Cutillas, F. (2015). Análisis y evaluación del transporte de sedimentos en la Rambla del Albujón [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena]. In *Repositorio Digital UPCT*. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5185>
- Marengo, H., Arreguín, F. I., & Romero, I. (2010). Evaluación de riesgos en proyectos hidráulicos de ingeniería. Incertidumbres y confiabilidad. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, Vol. 1, 5–35.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000400001&lng=es&tlng=es
- Martin Vide, J. P. (2003). *Ingeniería de Ríos* (Alfaomega, Ed.; 1a ed.). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mendoza López, F. A., García Aragón, J. A., Salinas Tapia, H., & Diaz Delgado, C. (2015). Modelación del transporte de sedimentos en cauces de alta pendiente,

- aplicación al río Las Cruces, Calimaya Estado de México. *Revista Digital TLÁLOC AMH*, Vol. 66, 53–79. <http://amh.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/Revista-66-BAJA-2.pdf>
- Meulen Silva, J. (2014). Movilidad del sedimento de fondo y el material leñoso en dos cuencas del sur de Chile [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile] [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. In *Repositorio Institucional UACH*.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcim597m/doc/bmfcim597m.pdf>
- Moreno Mejías, Y. C. (2018). Epistemología y Pedagogía... Consideraciones. *Revista Scientific*, 3(9), 362–372.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2018.3.9.20.362-372>
- Muñoz Bravo, F. A. (2013). Uso de trampas Bunte para la caracterización del transporte de sedimentos de fondo en el estero Vuelta de zorra, Valdivia [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. In *Repositorio Institucional UACH*.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcim971u/doc/bmfcim971u.pdf>
- Naito, K. (2021). Characterizing geomorphology of rivers in the Peruvian Andes [Caracterización de la geomorfología de los ríos en el Perú]. *Centro de Investigación y Tecnología Del Agua (CITA), Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC)*, 1–57.
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, E. H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5a ed.). Ediciones de la U.
- Paola, C., & Voller, V. R. (2005). A generalized Exner equation for sediment mass balance [Una ecuación de Exner generalizada para el balance de masas de sedimentos]. *Journal of Geophysical Research*, 110(F4014), 1–8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2004JF000274>
- Parker, G. (2004). *1D Sediment transport morphodynamics with applications to rivers and turbidity currents* [Morfodinámica del transporte de sedimentos en 1D con aplicaciones a ríos y corrientes de turbidez] [Diapositiva Power Point].

hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/_private/e-bookPowerPoint/RTe-bookCh1IntroMorphodynamics.ppt

- Peña Gonzales, E. (2002). Estudio numérico y experimental del transporte de sedimentos en cauces aluviales [Tesis Doctoral, Universidade Da Coruña]. In *Repositorio Universidade Coruña*. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/1037>
- Powers, M. C. (1953). A New Roundness Scale for Sedimentary Particles [Una nueva escala de redondez para las partículas sedimentarias]. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2), 117–119.
- Quincho Olazábal, J. B. (2015). Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango - Tumbes y Zarumilla [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Repositorio Institucional UNALM*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/918>
- Rains, A. (2019). *A comparative Analysis of Grain Size distributions and Cross Sections using an Oblique Photoset on the Nisqually Riverbed Adjacent to Longmire In Mount Rainier National Park [Un análisis comparativo de las distribuciones granulométricas y las secciones transversales utilizando un conjunto de fotos oblicuas en el lecho del río Nisqually adyacente a Longmire en el Parque Nacional del Monte Rainier]* [Master's thesis, University of Washington]. <http://hdl.handle.net/1773/45019>
- Raj, P. P. (2013). *Soil mechanics and foundation engineering [Mecánica del suelo e ingeniería de cimientos]* (2a ed.). Pearson Education India.
- Ricoy Lorenzo, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Educação*, 31(1), 11–22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=117117257002>
- Robert, A. (2003). *River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics [Procesos fluviales: Una introducción a la dinámica fluvial]* (1a ed.). Oxford University Press.
- Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial* (1a ed.). Universidad Nacional de Ingeniería.

https://www.researchgate.net/publication/315829253_Introduccion_a_la_Hidraulica_Fluvial

- Sánchez Oliva, S. H. (2021). Caracterización de los sedimentos de fondo en seis tramos del Río Huallaga [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. In *Repositorio Institucional UNAS*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1981>
- Sánchez San Román, F. J. (2017). *Hidrología Hidrogeología*. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. <https://hidrologia.usal.es/index.html>
- Simons, D. B., & Şentürk, F. (1992). *Sediment transport technology: water and sediment dynamics [Tecnología de transporte de sedimentos: dinámica del agua y de los sedimentos]* (1a ed.). Water Resources Publication.
- Switzer, A. D., & Pile, J. (2015). Grain size analysis [Análisis granulométrico]. In I. Shennan, A. J. Long, & B. P. Horton (Eds.), *Handbook of Sea-Level Research [Manual de investigación del nivel del mar]* (pp. 331–348). John Wiley & Sons.
- Tirado Bulnes, K. (2014). Sedimentación y colmatación en el embalse Gallito Ciego, Distrito de Yonán - Cajamarca. In *Repositorio Institucional UNPRG*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/99>
- Toniolo, H. (2020). Bed-sediment transport conditions along the sagavanirktok river in Northern Alaska, USA [Condiciones de transporte de sedimentos a lo largo del río Sagavanirktok en el norte de Alaska, Estados Unidos]. *Water (Switzerland)*, 12(3), 774. <https://doi.org/10.3390/w12030774>
- Van Rijn, L. C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas [Principios del transporte de sedimentos en ríos, estuarios y mares costeros]*. Aqua Publications. <https://doi.org/https://doi.org/10.23689/fidgeo-3273>
- Vanoni, V. A. (2006). *Sedimentation engineering [Ingeniería de sedimentación]* (Vol. 54). American Society of Civil Engineers.
- Ventura-León, J., & Peña-Calero, B. N. (2020). El mundo no debería girar alrededor del alfa de Cronbach \geq .70. *Adicciones*, xx.

https://www.researchgate.net/publication/347357496_El_mundo_no_deberia_girar_alrededor_del_alfa_de_Cronbach_70

- Viessman, W., & Lewis, G. L. (1996). *Introduction to hydrology [Introducción a la hidrología]* (4a ed.). Pearson Education.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología* (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ed.; 2a ed.). Editorial Villón.
- Ward, A. D., Trimble, S. W., Burckhard, S. R., & Lyon, J. (2016). *Environmental hydrology [Hidrología ambiental]* (3a ed.). CRC Press.
- Wohl, E. (2010). *Mountain Rivers Revisited [Ríos de montaña revisitados]* (Vol. 19). Water resources monograph series: American Geophysical Union.
- Zhen-Gang, J. (2008). *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling rivers, lakes, and estuaries [Hidrodinámica y calidad del agua: Modelización de ríos, lagos y estuarios]* (1a ed.). John Wiley & Sons.
- Zingg, T. (1935). *Beitrag zur Schotteranalyse [Contribución al análisis del lastre]* [Doctoral dissertation, Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich] [ETH Zürich]. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000103455>



ACTA DE SUSTENTACION PRESENCIAL DE TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 19 días del mes de diciembre de 2022, siendo las 9:00 am, se dará cumplimiento a la Resolución Virtual N°219-2022-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°1265-2022-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 07.DIC.2022 (Fijando fecha y hora de sustentación virtual de tesis), de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura y en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N° 0734-2022-UNHEVAL (Título III - Aprobación del Trabajos de Investigación, Tesis, Tesis Proyectual..., en Acto Publico Presencial o Virtual art. 77) y Resolución Consejo Universitario N° 2939-2022-UNHEVAL (se programe la sustentación de tesis de Pregrado de Manera Presencial), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación de la Tesis Titulada: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO EN EL RÍO HUALLAGA EN TRAMOS DE SAN RAFAEL Y AMBO**, para optar el Título de Ingeniero Civil el Bachiller **CLINTON CHAUPIS ADRIANO** de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

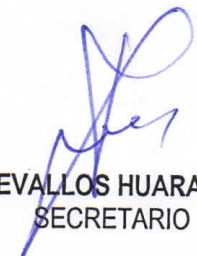
Finalizado el acto de sustentación Presencial de tesis, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

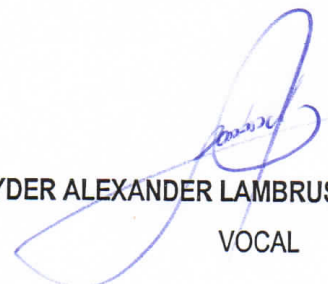
APellidos y Nombres	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
CHAUPIS ADRIANO CLINTON	APROBADO	18	MUY BUENO

Dándose por finalizado dicho acto a las: 10:40 del mismo día 15/12/2022 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES:


Ana María MATOS RAMÍREZ
 PRESIDENTE


JORGE ZEVALLOS HUARANGA
 SECRETARIO


REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA
 VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

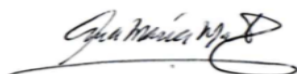
N°088-2022- DI/FICA

La directora de investigación de la Facultad de ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis titulada “**ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO EN EL RÍO HUALLAGA EN TRAMOS DE SAN RAFAEL Y AMBO**” del (os) Bachiller (s) **CHAUPIS ADRIANO, CLINTON** en Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 17 % verificable en el Reporte de Originalidad del software antiplagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 20 de diciembre del 2022



.....
Dra. Ana María Matos Ramírez
Directora de Investigación FICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	X	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	
----------	---	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	--

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	
Grado que otorga	

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Apellidos y Nombres:	Chaupis Adriano Clinton							
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	923664140
Nro. de Documento:	73486355					Correo Electrónico:	clintonchaupis@gmail.com	

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:						Correo Electrónico:		

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:						Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	X	NO					
Apellidos y Nombres:	Pauca y Montenegro, Clifton				ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0002-4423-8083		
Tipo de Documento:	DNI	x	Pasaporte		C.E.		Nro. de documento:	22461007

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los **Apellidos y Nombres completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	Matos Ramirez, Ana María
Secretario:	Zevallos Huaranga, Jorge
Vocal:	Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	Osorio Flores, Ever

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
Análisis y modelamiento del transporte de sedimentos de fondo en el río Huallaga en tramos de San Rafael y Ambo
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)			2022			
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Patente de Invención	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de Investigación	<input type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos	<input type="checkbox"/>
	Trabajo Académico	<input type="checkbox"/>	Otros (especifique modalidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	Transporte	Sedimentos	Cuantificación
--	------------	------------	----------------

Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)	<input type="checkbox"/>
	Con Periodo de Embargo (*)	<input type="checkbox"/>	Fecha de Fin de Embargo:	<input type="text"/>



¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
--	----	--------------------------	----	-------------------------------------

Información de la Agencia Patrocinadora:	<input type="text"/>
---	----------------------

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	Chaupis Adriano, Clinton	Huella Digital
DNI:	73486355	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 20/12/2022		