

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO EN SEIS TRAMOS DEL
RÍO HUALLAGA

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

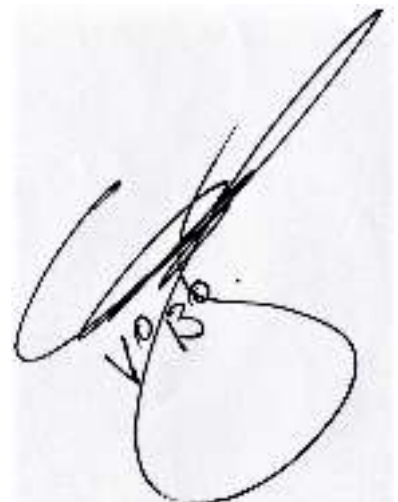
SANDY HELLEN SANCHEZ OLIVA

Asesores

Ing. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier.

Tingo María – Perú

2021





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 027-2021-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de Julio de 2021, a horas 10:00 a.m. en la Sala virtual Microsof Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua para calificar la Tesis titulada:

“CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO EN SEIS TRAMOS DEL RÍO HUALLAGA”

Presentado por el Bachiller: **SÁNCHEZ OLIVA, Sandy Hellen**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 08 de Setiembre de 2021

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ
PRESIDENTE



Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO

FIRMA DIGITAL

Ing. M. Sc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
MIEMBRO

Ing. M. Sc ERLE O. J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO EN SEIS TRAMOS DEL
RIO HUALLAGA

Autor	: Sánchez Oliva, Sandy Hellen.
Asesor	: Ing. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier.
Programa de investigación	: Gestión de cuencas hidrográficas.
Línea(s) de investigación	: Gestión y conservación del recurso suelo.
Eje temático de investigación	: Factores formadores de recurso suelo.
Lugar de ejecución	: Río Huallaga
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio.
Monto	: S/ 3691,60

Tingo María – Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y camino en momentos adversos y por dotarme de inteligencia para alcanzar uno de mis mejores anhelos.

A mis padres Wilman Sánchez Chujutalli y Delicia Oliva Huamán Sánchez por su apoyo incondicional que me permitieron cumplir con mi formación profesional.

A mi hermano Kevin Sánchez Oliva por su apoyo incondicional, mis más sinceros agradecimientos, te quiero mucho.

A mi pareja Raulito Barja Lorenzo y mi adorada mascota “El Bigus”, quienes son mi fuerza para salir adelante en mi formación profesional y ofrecerles lo mejor del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, diversas personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

- A Dios todo poderoso, por su amor y comprensión quien me llena de sabiduría y me guía en mi diario vivir.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a toda la plana de docentes y el personal administrativo que la conforman dicha institución por su apoyo y enseñanza.
- A mi asesor: Ing. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni, por su valiosa orientación técnica y científica, paciencia y su invaluable e incondicional apoyo que me ayudo en culminar este trabajo de investigación.
- A los miembros de jurado de la presente investigación: Dr. Lucio Manrique De Lara, Msc. José Víctor Quiroz Ramírez y Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, quienes con su paciencia y voluntad hicieron realidad la sustentación del informe de tesis.
- A mi pareja Raulito Barja Lorenzo y compañeros Diego Arroyo Abundo y Juan Turpo Morales por su gran paciencia y apoyo incondicional en las diversas actividades de campo y redacción.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen de sedimento	3
2.1.1. Procesos de destrucción y transformación	3
2.1.2. Fuentes sedimentarias	4
2.2. Los sedimentos de fondo	5
2.3. Clasificación de los sedimentos durante el transporte	7
2.3.1. Barras e islas	7
2.3.2. Rifles	8
2.4. Propiedad de los sedimentos	8
2.4.1. Propiedades individuales	9
2.4.2. Propiedades conjuntas	12
2.4.3. Distribución de los tamaños de las partículas	15
2.5. Geomorfología Fluvial	17
2.6. Análisis de exploratorio	17
2.7. Análisis de conglomerado de datos	18
2.7.1. Métodos de clúster	18
2.7.2. Prueba de Kolmogorov - Smirnov	19
2.7.3. PDF Log Normal	19
2.8. Estimación de parámetros	19

2.9.	Regresión lineal simple	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Descripción general de la zona de estudio	21
3.1.1.	Ubicación política de los tramos de materiales	21
3.1.2.	Ubicación geográfica de los tramos de materiales	22
3.1.3.	Clima	22
3.1.4.	Zonas de vida	22
3.1.5.	Hidrografía	23
3.1.6.	Accesibilidad	23
3.2.	Materiales, herramientas y equipos	24
3.2.1.	Materiales	24
3.2.2.	Las herramientas de campo	24
3.2.3.	Equipos de laboratorio	24
3.2.4.	Programa de computo	24
3.3.	Metodología	25
3.3.1.	Identificación de los sedimentos de fondo del río Huallaga	25
3.3.2.	Localización y muestreo de los sedimentos de fondo en la coraza del cauce	27
3.3.3.	Análisis granulométrico	29
3.3.4.	Análisis exploratorio de datos	30
3.3.5.	Propiedades individuales y conjuntas de los sedimentos de fondo	33
3.3.6.	Curva granulométrica característica de los sedimentos	38

3.3.7.	Variación del tamaño de las partículas con la distancia aguas abajo del río Huallaga	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Sedimentos de fondo en el lecho del río Huallaga	44
4.1.1.	Análisis exploratorio de datos	45
4.2.	Propiedades individuales y conjuntas de los sedimentos de fondo	49
4.2.1.	Propiedades individuales	49
4.2.2.	Propiedades conjuntas	52
4.3.	Diámetros específicos de los sedimentos de fondo	54
4.3.1.	Estimación de parámetros	54
4.3.2.	Curva granulométrica específica	55
4.3.3.	Diámetros característicos estimados	59
4.4.	Variación del tamaño de las partículas aguas abajo del río Huallaga	61
V.	CONCLUSIONES	65
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	67
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Ubicación política de los tramos de sedimentos del lecho del río Huallaga, tramo Chaglla – Aucayacu.	21
2. Coordenadas geográficas de los tramos de sedimentos del lecho del río Huallaga, tramo Chaglla – Aucayacu.	22
3. Accesos desde Tingo María a los sectores del tramo Chaglla – Aucayacu.	23
4. Clasificación del American Geophysical Unión (1987) para partículas sedimentarias.	30
5. Valores de SF relacionados con la redondez por Garde y Ranga Raju (1985).	36
6. Valor crítico de Δ° del estadístico Smirnov-Kolmogorov.....	39
7. Formato de la variable respuesta Y, los diámetros característicos observados y calculados según la variable explicativa X.....	42
8. Identificación de los tramos del río Huallaga.....	44
9. Medidas descriptivas de los sedimentos de fondo por tramos.	45
10. Medidas descriptivas de los sedimentos de fondo por tramo agrupado.	46
11. Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov.	49
12. Agrupados de datos prueba de normalidad.	49
13. Propiedades individuales de los sedimentos de subsuperficial del río Huallaga.....	50
14. Propiedades conjuntas de los sedimentos de subsuperficial del río Huallaga.....	53
15. Parámetros de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo por tramos.....	54
16. Parámetros de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo por tramos (agrupados).....	55
17. Diámetros característicos estimados por tramos.	59

18.	Diámetros característicos estimados por agrupación.	60
19.	Estadísticos descriptivos de los diámetros característicos observados y la longitud aguas abajo.	61
20.	Estadísticos descriptivos de los diámetros característicos calculados y la longitud aguas abajo.	62
21.	Datos del tramo Puerto Ángel.	77
22.	Datos del tramo Las Orquídeas.	78
23.	Datos del tramo Aucayacu.	80
24.	Datos del tramo Chinchavito.	81
25.	Datos del tramo Ramal de Aspuzana.	82
26.	Análisis de granulometría Ramal de Aspuzana.	85
27.	Análisis de granulometría Luyando.	86
28.	Análisis de granulometría Aucayacu.	87
29.	Análisis de granulometría Orquídeas.	88
30.	Análisis de granulometría Chinchavito.	89
31.	Análisis de granulometría Puerto Ángel.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Esquema de las dimensiones triaxiales de una partícula (García y Maza, s.f.).....	9
2. Formas de las partículas del sedimento.....	10
3. Determinación visual de la redondez de partícula.....	11
4. Esquema de composición del suelo.....	13
5. Patrón de gradación en un punto de la barra más fino (finer) y más grueso (coarser).....	25
6. Variación vertical en el perfil de una coraza de lechos de sedimento grueso.	26
7. Variación vertical en el perfil de una coraza de lechos de sedimento grueso.	28
8. Representación gráfica de los diferentes espesores que podría tener la coraza superficial de acuerdo con el criterio utilizado.	29
9. Esquema de las dimensiones triaxiales de una partícula.	34
10. Diámetros medios de los seis tramos en estudio.	46
11. Diámetros medios de fondo por tramo agrupado.	47
12. Dendograma de los pesos de sedimentos de fondo por tramos.	48
13. Curva granulométrica específica Orquídeas y Aucayacu.....	56
14. Curva granulométrica específica Luyando y Ramal de Aspuzana.....	57
15. Curva granulométrica específica Chinchavito y Puerto Ángel.	58
16. Relación de los diámetros observados y la longitud aguas abajo.....	62
17. Relación de los diámetros calculado y la longitud aguas abajo.	63
18. Histograma del tramo Ramal de Aspuzana.	83
19. Histograma del tramo Luyando.....	83

20.	Histograma del Orquídeas.....	84
21.	Histograma del tramo Aucayacu.....	84
22.	Histograma del tramo Chinchavito.....	84
23.	Histograma del tramo Puerto Ángel.....	85
24.	Curva granulométrica del tramo Chinchavito muestra 1 del Subsuperficial.....	91
25.	Curva granulométrica del tramo Chinchavito muestra 2 del Subsuperficial.....	91
26.	Curva granulométrica del tramo Orquídeas muestra 1 del Subsuperficial.....	92
27.	Curva granulométrica del tramo Orquídeas muestra 2 del Subsuperficial.....	92
28.	Curva granulométrica del tramo Luyando muestra 1 del Subsuperficial.....	93
29.	Curva granulométrica del tramo Luyando muestra 2 del Subsuperficial.....	93
30.	Curva granulométrica del tramo Puerto Ángel muestra 1 del Subsuperficial.....	94
31.	Curva granulométrica del tramo Puerto Ángel muestra 2 del Subsuperficial.....	94
32.	Curva granulométrica del tramo Aucayacu muestra 1 del Subsuperficial.....	95
33.	Curva granulométrica del tramo Aucayacu muestra 2 del Subsuperficial.....	95
34.	Curva granulométrica del tramo Ramal de Aspuzana muestra 1 del Subsuperficial.....	96
35.	Curva granulométrica del tramo Ramal de Aspuzana muestra 2 del Subsuperficial.....	96
36.	Identificación del tramo chinchavito en forma de rifle.....	97
37.	Identificación del depósito de orquídea de las formas de barra.....	97
38.	Identificación de las muestras del tramo de Chinchavito.....	98
39.	Identificación de las muestras del tramo de Orquídeas.....	98
40.	Identificación de las muestras del tramo de Luyando.....	98
41.	Selección de Partículas por el tamiz en el tramo Aucayacu.....	99

RESUMEN

Los sedimentos es uno de los aspectos más influyentes y sensibles en el entendimiento de los ríos cuando se requiere corregir problemas de erosión y deposición, la repartición de los granos y sus propiedades son determinantes y poco conocidos. El objetivo de este estudio fue caracterizar los sedimentos de fondo en los tramos Chinchavito, Las orquídeas, Luyando, Puerto Ángel, Aucayacu y Ramal de Aspuzana del río Huallaga, Provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Se utilizó el análisis exploratorio y el modelo probabilístico Log Normal para representar la distribución de los granos como la variación con el recorrido de las aguas. El río Huallaga presento sedimentos de fondo de gravas con granulometría extendida sujeta al incremento del tamaño del grano a lo largo del río, perdura formas redondeadas, no alargados y anchos, con un diámetro medio entre 41,32 mm a 62,75 mm, el ángulo de reposo se encontró entre los 52° a 65° grados con un peso específico de 116 g/cm³ hasta 588 g/cm³. Predominan los cantos pequeños en la parte alta de forma de rifles (caídas de pendiente alta) y las gravas muy gruesas hasta arenas muy finas en la parte media y baja de forma de barras (pendiente baja) se recomienda el uso de las propiedades para diversos estudios ambientales.

Palabras clave: Sedimentos de fondo, Diámetro, distribución del tamaño, rio Huallaga.

ABSTRACT

Sediments are one of the most influential and sensitive aspects in the understanding of rivers when it is necessary to correct erosion and deposition problems; the distribution of the grains and their properties are determinant and little known. The objective of this study was to characterize the bottom sediments in the Chinchavito, Las Orquideas, Luyando, Puerto Angel, Aucayacu and Ramal de Aspuzana sections of the Huallaga River, Leoncio Prado Province, Huánuco region. Exploratory analysis and the Log Normal probabilistic model were used to represent the distribution of the grains as well as the variation with the course of the water. The Huallaga river presented gravel bottom sediments with extended granulometry subject to the increase of grain size along the river, with a mean diameter between 41.32 mm to 62.75 mm, the angle of repose was found between 52° to 65° degrees with a specific weight of 116 g/cm³ to 588 g/cm³. Small pebbles predominate in the upper part in the form of riffles (high slope falls) and very coarse gravels to very fine sands in the middle and lower part in the form of bars (low slope), the use of the properties is recommended for various environmental studies.

Keywords: Bottom sediments, diameter, size distribution, Huallaga River

I. INTRODUCCIÓN

La caracterización de sedimentos es uno de los aspectos más influyentes y sensibles en el entendimiento de los ríos cuando se requiere corregir problemas de erosión y deposición de partículas; en él se presentan un rango de tamaños de partículas en el depósito, desde muy fina (limos y arcilla) hasta gruesas incluso las rocas y piedras de gran tamaño, además representan una variación espacial y temporal en su composición a causa de diferentes factores como la morfología del lecho, el régimen de caudales y las tasas asociadas al transportes de sedimentos, los aportes de los ríos tributarios , y en ocasiones , la intervención del hombre (Bravo et al., 2004).

Comprender la capacidad de arrastre e inicio del movimiento incipiente del material del lecho, representa sistemas de estudio de gran variabilidad, los sedimentos no cohesivo de granulometría extendida cuando están sujetos a la acción de un flujo de agua es su capacidad para desarrollar una coraza o armadura en la superficie del lecho, como un empedrado .Para que ocurra esto es necesario que el flujo puede arrastrar los granos finos del material del cauce pero no los más gruesos, coincidentemente con el muestreo de sedimentos de un tramo del cauce y sus propiedades, son particularmente útil como un insumo para resolver el cálculo del esfuerzo máximo que soportaría el cauce (Bravo et al., 2004).

El aprovechamiento de materiales de acarreo, el diseño de obras de protección como la estabilización de cauces en el río Huallaga, requieren del conocimiento de las características de las partículas, que a menudo son recolectadas sin conocer el lugar donde no superan el movimiento incipiente, es decir mantienen la estabilidad del lecho.

Una apropiada caracterización de las propiedades individuales y en conjunto de las partículas en los depósitos, como la clasificación granulométrica o la medición y graduación de los granos hace posible obtener información valiosa para los diferentes estudios que se puedan desarrollar (hidráulicos, sedimentológicos, morfológico y ambientales).

Frente a esta situación insatisfecha del problema se formula: ¿De qué manera existe una clasificación graduada de partículas en el reparto de granos y sus propiedades físicas en la coraza del cauce en seis tramos del río Huallaga?, planteándose la hipótesis: “en seis tramos del río Huallaga existe una separación de los distintos tamaños de las partículas características de la coraza del fondo constituidos por sedimentos o depósitos originales. Frente a esta circunstancia, se plantearon los siguientes objetivos:

Se logró contrastar la hipótesis concerniente al presente estudio, la cual señalaba que en seis tramos del río Huallaga existe una separación de los distintos tamaños de las partículas características de la coraza del fondo constituidos por sedimentos o depósitos originales, En algunos puntos de muestreo tienen similitud los diámetros de las partículas por tramos agrupados.

Objetivo principal:

- Caracterizar los sedimentos de fondo en seis tramos del río Huallaga.

Objetivos específicos:

- Identificar los sedimentos de fondo en el lecho del río Huallaga.
- Determinar las propiedades individuales y conjuntas de los sedimentos de fondo.
- Estimar los diámetros específicos de los sedimentos de fondo.
- Evaluar la variación de los diámetros de los sedimentos de fondo a lo largo del cauce.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen de sedimento

Los fragmentos sedimentarios son partículas formados de la transformación química o mecánica, resultado por los atributos de denudación sobre las rocas anteriormente existentes, y van acumulándose en forma de láminas, estrato por estrato, en la capa superficial de la tierra. El endurecimiento de las partículas de rocas a temperaturas y presión aproximadamente bajas lleva a formar rocas sedimentarias (Graf, 1971).

Según el origen de las partículas acumuladas ya sea del lecho o lavado. Según el traslado, las partículas acumuladas (sedimentos) podría ser llevado en suspensión (flotando por la turbulencia del flujo) también en el fondo como (rodamiento, deslizándose o saltando (Graf, 1971).

Las partículas de gran tamaño, generalmente el material grueso (arena), ya sean finas y las más grandes. Las de gran tamaño se mueven dentro de la sección como carga de fondo. Los fragmentos están permanentemente o regularmente en contacto al cauce y se mueven por deslizamiento o rodamiento, también en series de movimientos llamados saltos (Charlton, 2007).

2.1.1. Procesos de destrucción y transformación

Las rocas son atacadas generalmente por dos características (agentes atmosféricos) entre ellos tenemos al aire y agua. Estas propiedades naturales atacan con diferentes procesos físicos y químicos destruyendo y transformando en rocas. El procedimiento de degradación y descomposición de rocas pueden desintegrarse mecánica o física y químicamente (García y Maza, s/f).

2.1.1.1. Desintegración mecánica

Las modificaciones de temperatura: La degradación del material roca por consecuencias de temperatura ocurre, por la frecuencia consecutiva de calentamiento y enfriamiento también a cambios térmicos, estacionales. Debido a ello la compresión y tensión se perturba, por tanto, la roca entra en desfortaleza. (García y Maza, s/f).

Congelamiento: Este acontecimiento ocurre cuando el agua se atrapa en los orificios y fisuras al congelarse este se dilata, este ocasiona la fracturación de la roca, y ésta se abre aún más por presión.

El impacto físico de la flora y la fauna por la degradación de las rocas: La raíz de los árboles cumplen una función al desarrollar fracturan las rocas, también en menor efecto, los animales ayudan con su actividad perforantes y excavadoras (García y Maza, s/f).

2.1.1.2. Descomposición química

El fluido (agua) es el componente primordial en los procesos de descomposición química de las rocas (García y Maza, s/f).

Oxidación: adición de iones oxígeno, al mineral que compone la roca.

Reducción: extraer iones oxígeno del mineral que compone la roca.

Hidratación: adherir el agua al mineral que constituyen las rocas. El estado líquido constituyente de la estructura de la roca forma parte del componente. Solo se puede quitar mediante la desintegración (García y Maza, s/f).

Carbonatación: solución del componente roca por estado líquido que constituye una proporción considerable de CO₂ (García y Maza, s/f).

Las consecuencias químicas de la vegetación: las sustancias químicas orgánicas, donde hay mayor desarrollo en la vegetación descompuesta, suelen aumentar la disolución de las aguas naturales; como también otros tipos de elementos vegetales, tales como líquenes, sustraen algún ingrediente químico de las rocas (García y Maza, s/f).

2.1.2. Fuentes sedimentarias

Es difícil indicar con exactitud completamente las fuentes que se generan sedimentos que invocan directamente al río y que son arrastrados por las corrientes. No obstante, conforme a la definición, la fuente primordial lo conforman el suelo y las rocas que se sitúan en la cuenca, los primordiales agentes de erosión son el agua y el viento, por otro lado, también la actividad humana (García y Maza, s/f).

2.1.2.1. Naturales

a). Erosión de la capa delgada del suelo. El suelo, tiene una lámina frágil y delgada, en donde entran en acción la lluvia y el viento. El viento mueve y desplaza partículas (transporte eólico) lo cual se depositan en llanura, o llegan directamente a los ríos. La intensidad de la precipitación satura el suelo, lo cual inicia el llamado flujo escorrentía. Este corriente de agua superficial desprende y lleva las partículas de la lámina superficial del suelo. Siempre y

cuando la intensidad es fuerte el material transportado será mayor y cuando la cobertura vegetal del suelo sea densa (García y Maza, s/f).

b) Erosión del río principal y secundarios. Cuando haya iniciado la escorrentía superficial por la consecuencia topográfica del suelo, ocurren las primeras formaciones de arroyos y van aumentando poco a poco su caudal y se vuelven en torrentes. Se transforman con mayor capacidad erosiva, sin embargo, cuando los ríos exceden y dejan huellas en su cauce, cuando haya pasado este hecho catastrófico es notable su daño (García y Maza, s/f).

c). Movimiento natural del suelo. Los deslizamientos de grandes masas de tierra y rocas provocan a que quede frágil todo suelo. Podría suceder, aunque pocas veces, las rocas de la superficie quedan sueltas, movidos y este provocaría que a laderas del río ocurriría un deslizamiento muy gradual. Y este proceso se llama erosión de suelos y se convierte en sedimento que llegan a las corrientes (García y Maza, s/f).

2.1.2.2. Artificiales

a). Tala mesurada de la vegetación. Mesuradamente la actividad de la agricultura agronómica y forestal lleva a la destrucción de los bosques para del desarrollo urbano (García y Maza, s/f).

b). Obras de ingeniería. Las construcciones de grandes, medianas y pequeñas como carreteras, plantas industriales, vías férreas y construcciones urbanísticas, etc., para mejorar el territorio, se mueven volúmenes y volúmenes de tierra y quedan sin protección, quedan modificados por la ingeniería las pendientes, quedan totalmente expuestos al suelo desnudo, lo que facilita que los cuerpos de agua arresten libremente (García y Maza, s/f).

c). Explotación de minas y canteras. Toda actividad como explotación que el hombre provoca está destruyendo por ejemplo en este caso rompen y fracturan rocas y suelos (García y Maza, s/f).

d). Desechos urbanos e industriales. Los drenajes recogen materiales desechos y llegan a depositar directamente a los lagos y ríos (García y Maza, s/f).

2.2. Los sedimentos de fondo

Los fragmentos sedimentarios en actividad pueden ordenarse de dos formas: respecto a su originalidad y a su modo como se desplaza. La primera forma, el fragmento sedimentario procede del lecho de río, conocido también como descarga del cauce; por lo tanto, si el

fragmento consta de una fuente foráneo a la sección del cauce o podría ser de fuente temporal de sedimentos del cauce, conocido como partículas o carga lavado; por lo tanto, es material fino (Naden, 1988). La segunda forma, si los sedimentos se encuentran en el agua por motivos de ascendentes de la turbulencia, por lo tanto, se conoce como transporte suspendido, y los sedimentos se trasladan por arrastre, saltos encima o fondo de la sección del cauce, se conoce como transporte o arrastre de fondo (Naden, 1988).

Desde el punto de vista habitual para predecir la descarga de partículas de fondo en flujo natural del río, fue a través de ecuaciones empíricas. El valor fundamental de seleccionar una ecuación que predice permite, sin embargo, de mejorar la habilidad para implementar acciones que reduzcan la descarga de sedimentos en cauces (Bravo et al., 2004).

En México, La creciente de informaciones sobre acarreo de fragmentos sedimentarios está relacionado principalmente con la capacidad de depósito y vida útil de la infraestructura hidráulica. Martínez y Fernández (1983) tazarón que los flujos naturales transportaban $365 \times 10^6 \text{ t año}^{-1}$ de partículas. Las ocasiones ecológicas del transporte sedimentarios sin embargo son fundamentales; En esta investigación sobre la disponibilidad de agua en México presentó que los sedimentos cambian la calidad sobre las masas de agua superficial de uso domicilio, porque es el medio o fuente contaminante (Jiménez et al., 1998).

La idea de acarreo de materiales, fija que las características que dominan el dinamismo de partículas en un río natural son la capacidad de acarreo del río y la disposición del material (Graf, 1971; Simons y Senturk, 1992).

La máxima carga de transporte es la capacidad de carga que puede acarrear o llevar un río y la existencia de material suficientes es la disponibilidad de partículas finos para ser transportados por la fuerza de la corriente. Las sucesiones que dominan la disponibilidad y el almacenamiento de partículas, como el acarreo, son particularmente dependiente de la escala (Osterkamp y Toy (1997).

El transporte de fondo es una cantidad de partículas totales que un flujo arrastra, encima o muy cerca al fondo del río, lo cual arrastra por saltos o rodando (Garde y Ranga Raju, 1985; Chang, 1988). Generalmente la corriente de partículas de fondo es suave en comparación con la descarga de material en suspensión que un flujo natural acarrea.

Por tanto, el transporte de fondo es fundamental contribuye con la morfología del lecho. Sin embargo, es el medio que controla la estabilidad de la sección del cauce natural, como la forma del fondo de la sección, por consiguiente, es el encargado de rigidez

hidráulica, de la pendiente de energía del río y otras características de la corriente (Shen y Cheong, 1978; Leopold, 1992; Carbonneau y Bergeron, 2000).

La transitabilidad del material se crea cuando la fuerza del contante supera un valor crítico (Yalin, 1972; Bagnold, 1973; Wiberg y Smith, 1985). Sin embargo ocurre cuando es menor el volumen de arrastre del material que se transporta arrastrando por la sección del río. Si la fuerza hidráulica incrementa, el material de desplazamiento es en saltos, por la rugosidad del fondo y la fuerza de elevación. De manera frecuente los sedimentos procederán a nuevos saltos por consecuencia de la turbulencia del cauce y la fuerza del flujo en acenso (Yalin, 1972; Bagnold, 1973; Wiberg y Smith, 1985).

El desplazamiento de fondo del río es proceso con una variación eventual y espacial (Gomez, 1983). La heterogeneidad lo aclaran aquellas agentes que disponen los recursos de sedimentos. Según Gomez (1991) y Reid y Frostick (1994), la socavación, sedimentación y colapso en el fondo de la sección del río, cambian la forma de la sección como transversalmente, estado del flujo y el arrastre del fondo.

Sin embargo, el volumen del material del fondo altera en su totalidad en la cantidad de una sección del cauce transversalmente (Pitlick, 1988). En una investigación, desarrollando en condiciones de flujo uniforme, concluyeron que las tasas superiores de desplazamiento se muestran en el centro (Pitlick, 1988). Después de ver el desarrollo en la mecánica de arrastre de fondo del río, se cree que es necesario realizar una ecuación o un algoritmo que posea esa capacidad de predecir razonablemente, de los datos obtenidos de una corriente natural (Bravo et al., 2004).

2.3. Clasificación de los sedimentos durante el transporte

2.3.1. Barras e islas

Generalmente se menciona que las islas están con cobertura, pero en crecidas de agua no siempre logra cubrir toda la isla en etapas de creciente y normales del río. Por lo tanto, se diferencian de las barras, y estas se ven cubierto durante las avenidas estacionales y muy pocas veces tienen cobertura vegetal sobre ella (Bridge, 1993).

No obstante, el crecimiento de los árboles está bajo control por el tiempo de emersión del espacio de la barra, también es por el tipo de material y la vegetación que hay para colonizar. Dependen de acuerdo a las condiciones del clima, y la acumulación de sedimentos como los periodos de erosión. Es muy difícil pronosticar si una barra volverá a ser isla o cuando dejará de ser (Bridge, 1993).

Sin embargo, esta diferencia de barras e islas podría separarse de una manera artificial de materiales que tengan formas geométricas y génesis en común. Denominados islas provisionales a las barras sin vegetación y permanentes con vegetación. También son denominados islas de estabilidad e inestabilidad. Todo ello implica la relación entre erosión y sedimentación (Bridge, 1993).

2.3.2. Rifles

La influencia del control topográfico de la estructura del flujo y el sedimento a menudo se conservan las vías de transporte en la clasificación del material del lecho, por ejemplo, el riffle. Los sedimentos de los canales rectos suelen ser más gruesos y mejor clasificados que los canales adyacentes, piscinas (Keller, 1971; Lisle, 1979).

Aunque las condiciones de movimientos iniciales determinan el calibre del sedimento arrastrado desde el material del lecho, las distribuciones del tamaño de grano de la carga del lecho pueden sufrir modificaciones sustanciales durante el transporte (Mark, 1998). Las fuerzas que promueven la clasificación de sedimentos durante el transporte surgen de aguas abajo cambios en la curvatura del canal y la topografía del lecho. Por ejemplo, las camas de los tramos rectos generalmente se deforman en mínimos y altos topográficos denominados piscinas y rifles (Mark, 1998).

Según Dietrich (1987) y Ferguson (1993) han argumentado que la piscina y el riffle son parte de una sola cama, la unidad de barra. La unidad de barra consiste en una zona de socavación (charco) que se ensancha y ensancha aguas abajo que termina en un lóbulo oblicuo poco profundo (riffle). (Dietrich, 1987 y Ferguson, 1993) Cuando la barra se repite a lo largo de los bancos opuestos, es denominada barra alternativa. En canales con bancos fácilmente erosionables, la presencia de barras alternas normalmente conduce a un patrón de canal serpenteante en el que, la barra se "envuelve" alrededor de la curva formando una barra de puntos.

2.4. Propiedad de los sedimentos

Las partículas en los ríos con lechos de grava y guijarros deben de ser sometidas a varios análisis para la toma de datos, la correcta medición de la partícula es similar a hacer pasar este elemento por un tamiz de diámetro determinado, pero la mala identificación de la longitud a ser medida introduce un cierto error en el procesamiento de datos para el cálculo de distribuciones granulométricas (Bravo-Espinosa et al., 2004).

2.4.1. Propiedades individuales

2.4.1.1. Tamaño

Las partículas comprenden en su tamaño tres ejes entre ellos se definen de forma dimensional dicho elemento. Para muchas aplicaciones, es mucho más conveniente caracterizar el tamaño de partícula por solamente una variable, como ser la longitud del eje medio o el tamaño del tamiz sobre el que una partícula fue retenida. En cuanto los tamaños son determinados y analizados estadísticamente, se generan las distribuciones de tamaño de partículas y parámetros estadísticos que los caracterizan, estas pueden ser comparadas entre flujos o con el tiempo (García y Maza, s.f.).

El tamaño de partícula media sobre un lecho de río y el tamaño de ciertos percentiles de la distribución granulométrica puede afectar la hidráulica del río y el transporte de sedimentos. Los estudios referentes a la mecánica de las partículas y transporte de estas, tienen que incluir la descripción y la comparación de la forma de dicha partícula (García y Maza, s.f.).

Los fragmentos sedimentarios de origen natural son de diversas formas; sin embargo, la dimensión de una partícula depende del tamaño o por la metodología que se utilizó para medir su característica, volumen, velocidad de caída, tamaños de abertura de malla y dimensiones triaxiales. Los criterios fundamentales se basan en algunas definiciones como: diámetros nominales, diámetro de cribado, dimensiones triaxiales, diámetro de sedimento (García y Maza, s.f.).

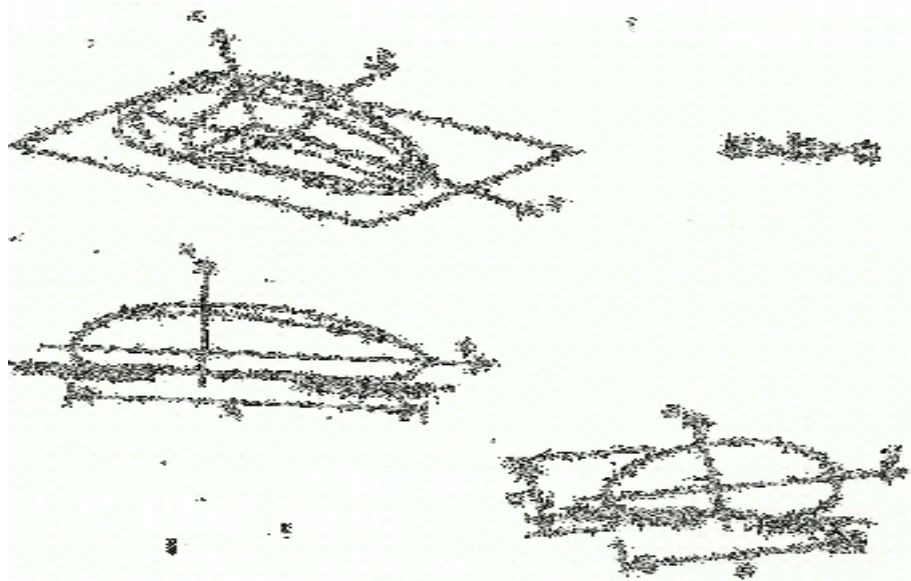


Figura 1. Esquema de las dimensiones triaxiales de una partícula (García y Maza, s.f.).

2.4.1.2. La forma

La forma normalmente geométrica completo de un segmento se define sin tomar en cuenta su composición y tamaño mediante la redondez, esfericidad y factor de forma (García y Maza, s.f.). La redondez es la relación del radio de la circunferencia y el radio medio de curvatura de las aristas de una partícula. Los sedimentos de formas geométricas muy distintos, con el mismo volumen y densidad, logran estar en forma igual al fluido, por lo tanto, su forma se define en términos de su desarrollo dinámico (García y Maza, s.f.).

Las partículas pueden ser variadas por lo tanto podrían afectar su desarrollo en el fondo del agua y podrían mostrar aspectos tendentes a esferas, discos, láminas, elipsoides y también podrían ser totalmente irregular (Figura 2) (García y Maza, s.f.). Son formas de un clasto y se definen conforme a las propiedades de su geometría o la relación de sus ejes de un rodado a través de un concepto de forma, donde su distinción sea notable (un eje, largo, y dos cortos) el siguiente lado (dos ejes largos y cortos) también se menciona la relación entre ejes: a/b y $a-b/a-c$, (Sneed y Folk ,1958).

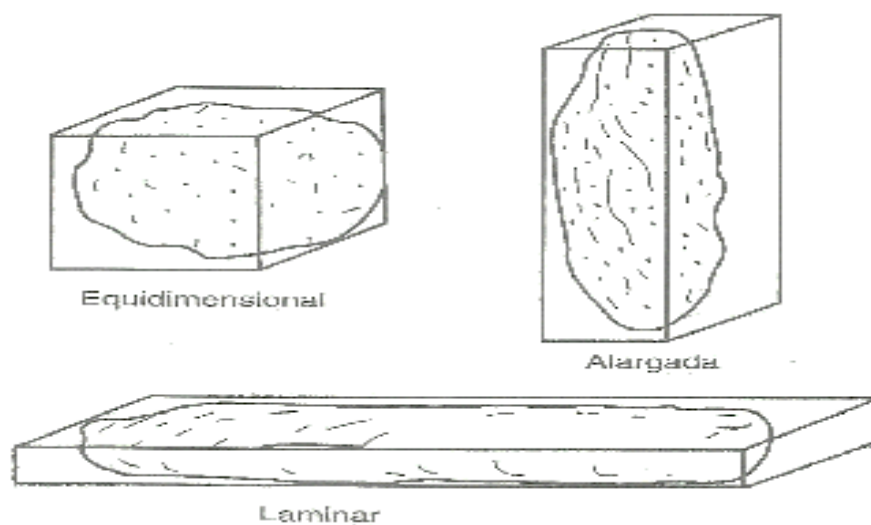


Figura 2. Formas de las partículas del sedimento.

2.4.1.3. Redondez

Redondez se define como la suavidad de los ángulos o esquinas de la partícula. A medida que una partícula clástica adquiere mayor redondez, será más fácilmente transportada. La esfericidad y la redondez son propiedades independientes entre sí (Pérez y Márquez, 2017). La redondez se define la corrosión, el acabamiento el deterioro de una partícula.

La redondez mide la cantidad de aristas de una partícula y cuanto de puntiagudas son. Existen varios métodos para la determinación de las características mencionadas, pero la obtención de valores precisos es compleja y sujeta a grandes variaciones (Comini y Zegarra, 2020).

Redondez	Descripción	SF	
1. Muy angular	Partículas con superficies de fractura recientes, múltiples aristas y bordes cortantes.	0.12	0.17
2. Angular	Presentan esquinas y bordes ásperos, lastiman, no son tan cortantes o afiladas sino de formas más bien primáticas.	0.17	0.25
3. Sub angular	Se distinguen bordes y aristas, pero estas despuntadas o ligeramente redondeadas	0.25	0.35
4. Subredondeada	Se distinguen, pero no se sienten las aristas ni lo bordes. Se aprecia que estos han sido redondeados	0.35	0.49
5. Redondeada	Tiende a equidimensional. No se diferencian esquinas o puntas al rolarlo con los dedos	0.49	0.7
6. Bien redondeado	Partículas con superficie llana o pulida. Aproximadamente esféricas o elipsoidales	0.7	1

Fuente: Mc Nown (1951).

Figura 3. Determinación visual de la redondez de partícula.

2.4.1.4. Factor forma

Otra de las propiedades que se define en la forma de partículas es el factor de forma, siendo razón de sus dimensiones triaxiales de las partículas, entre el espesor, ancho y largo (García y Maza, s.f.).

$$SF = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (1)$$

Según Garde y Ranga (1985) a través del SF, representan valores de redondez de las partículas y la descripción de su característica física de acuerdo con el valor de redondez. Salinas y García, (2011) mencionamos que cuando un fluido está en actividad y el efecto afecta en la fuerza de desplazamiento de las partículas por lo tanto afecta la velocidad de caída, en el sedimento natural, donde su forma es irregularmente.

Existe un desafío importante en la ciencia de los materiales granulares, donde se busca comprender la conexión entre las formas de los granos individuales y el comportamiento de los agregados en una escala macroscópica (Zhao et al., 2020). Estudios recientes han mostrado que es posible obtener propiedades no triviales del material macroscópico mediante ajustes en la forma grano (Zhao et al., 2020).

2.4.1.5. Velocidad de caída

Se menciona como la velocidad máxima que requiere una partícula al descender en el agua: se logra cuando el peso sumergido de una partícula llega al equilibrio con la corriente del agua, conocido también velocidad terminal (Garde y Ranga, 1985). Los cálculos y mediciones son importantes para la obtención de los parámetros, en donde se utiliza para el análisis de desplazamiento de partículas y algunas están relacionadas con los regímenes de flujo (Garde y Ranga, 1985).

El efecto del movimiento transversal del fluido en la velocidad de caída de sedimentos en suspensión. Las técnicas ópticas PIV (Velocimetría por Imágenes de Partículas) y PTV (Velocimetría por Rastreo de Partículas) utilizadas permitieron determinar la velocidad de caída de partículas individuales. A partir de los resultados, se encontró una relación entre el número de Reynolds de las partículas, el tamaño de las partículas, las características físicas de éstas y del fluido, y el número de Reynolds del fluido (Salinas y García, 2011).

Cuando se compara el resultado experimental y ajustando el modelo propuesto obtenido por otras fórmulas, también se aclararon las ventajas del modelo propuesto, considerando propiedades del movimiento del fluido para utilizar en la investigación de acarreo de las partículas (Salinas y García, 2011).

2.4.2. Propiedades conjuntas

2.4.2.1. Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, es decir las unidades en el sistema internacional son Kg/m³, la densidad varía con la temperatura a 4 °C el agua tiene una densidad del 1000 Kg/m³ (Simmons y Senturk ,1976).

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (2)$$

2.4.2.2. Peso específico (T)

Su definición, el peso por la unidad de volumen, decimos. La unidad en sistemas internacionales son N/m^3 , O bien $Kg/(m^2s^2)$. El peso específico y la densidad existe una relación por medio de la 2da ley de newton (Maza y García, s.f.).

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3)$$

2.4.2.3. Peso volumétrico

El peso volumétrico de un conjunto de partículas es el peso de la materia entre el volumen total que ocupa el conjunto, contenidos dentro de él los huecos o vacíos. Sus unidades y dimensiones son las mismas que las indicadas para el peso específico (Maza y García, s.f.).

En el peso volumétrico de una muestra de partículas se distinguirá el peso volumétrico seco, es cuando los espacios vacíos están repletos de aire, el parcialmente saturado y el sumergido, es cuando el total de ellos están ocupado de agua. El peso volumétrico se utiliza para estimar la vida útil y las etapas que deberán programarse (Maza y García, s.f.).

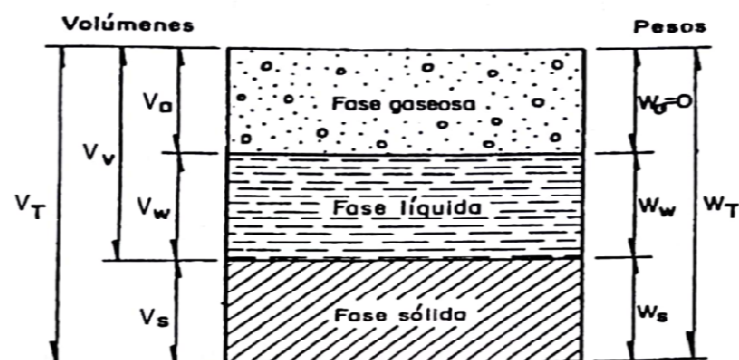


Figura 4. Esquema de composición del suelo.

2.4.2.4. Esfericidad

Es una medida convencional que expresa el grado en que una partícula se aproxima a una esfera. Wentworth (1922) fue el primero en desarrollar una expresión que indica la forma de las partículas. Se trata de su coeficiente de aplastamiento, expresado por ra/R , donde ra es el radio de curvatura de la cara más plana y R el radio medio. El mismo autor también desarrolló la expresión de redondez ri/R , donde ri es el radio de curvatura de la arista más aguda (Wadell, 1932).

Wadell (1932) planteó la medición de esfericidad verdadera, donde se muestra s/S lo cual significa “S” = área de la superficie de la partícula, “s” = área de la superficie de una esfera del mismo volumen. En efecto, la esfericidad expresado anteriormente, área de la partícula por unidad de volumen. (Sneed y Folk, 1958) realizaron diferentes evaluaciones de esfericidad y sugirieron uno nuevo: la esfericidad máxima de proyección, Φ_p (llamado también esfericidad efectiva de partículas), que es igual a la razón entre una sección principal de una esfera de igual volumen y el área máxima de proyección del rodado, relativamente expresado como: esfericidad máxima de proyección, Φ_p (conocido como esfericidad efectiva de sedimentación).

$$\Phi_p = \sqrt[3]{(C^2/AB)} \quad (4)$$

Según estos autores, la ecuación representa mejor el comportamiento de una partícula en un medio fluido, que las indicadas previamente (Briggs et al. 1962). Se puede calcular la esfericidad máxima de proyección gráficamente. Sin embargo, (Briggs et al. 1962) han demostrado que también las otras mediciones se correlacionan bastante bien con las propiedades dinámicas de las partículas.

La evaluación de la esfericidad y la redondez se realiza directo sobre una partícula, siempre comparando con patrones de formas (Rittenhouse, 1943). La difícil evaluación de la esfericidad de Wadell (1933, 1935) el autor utilizó la esfericidad desarrollada por (Tickell, 1947) expresado como d_c/D_c , por lo tanto, d_c = diámetro del círculo de igual área (medido con un planímetro) y D_c = diámetro menor circunscripto. En cambio, (Tickell, 1947) se convence más por la fórmula de (Riley, 1941) $R_i = (d_i/D_c)^{1/2}$, donde d_i y D_c son el círculo máximo inscripto y mínimo circunscripto, al respecto de los procedimientos, eran aplicados a granos de cuarzo, en el caso de las micas (achataos firmemente en la vista c) también cometieron un error al usar una proyección de la vista ab.

2.4.2.5. Planicidad y grosor

El índice de planidad puede ser igual a uno o mayor el índice de planidad de partículas naturales varias cuanto más grande es el índice de planidad, mas aplanadas es la partícula como una laja tiene índice de grosor y largura, respectivamente en términos de las dimensiones triaxiales de la partícula, es de poco espesor, respecto de su ancho en tanto que, si la partícula es más larga que ancha, o sea de apariencia alargada (García, 1978).

2.4.2.6. Ángulo de reposo

Se nombra ángulo de reposo al ángulo máximo que una partícula descansa sobre un cuerpo y continúa siendo estable sin producir la falla por erosión (Rodas y Rousé, 2010). Es por ello, esta es una característica del suelo que se define por la fricción, cohesión y forma de las partículas. Sin embargo cuando vertimos el material granulado sobre una superficie horizontal, esta forma un conjunto de partículas en el espacio superficial (Rodas y Rousé, 2010).

La variación de ángulo de reposo fue estudiada para los materiales uniformes de arenas y gravas, en este material el ángulo de reposo decrece con el incremento del tamaño de la partícula hasta alcanzar un mínimo, luego del cual el ángulo de reposo aumenta nuevamente para las arenas y gravas el valor mínimo de θ ocurre con un valor de $d=2,4$ mm, en estos contenidos se debe tener en cuenta las curvas de que menciona (Simons y Senturk, 1976), que difieren más para tamaños de partículas pequeñas y tienen como función directa los tamaños medios y angulosos de las partículas.

2.4.3. Distribución de los tamaños de las partículas

Los tamaños sedimentarios de partículas se distribuyen de acuerdo a los factores como pendiente, topografía del lugar, caudal, geografía, ríos tributarios y otros (Jiang et al., 2015). El río tiene altas cargas de sedimentos, el problema del control de sedimentos surge necesariamente cada vez que se discute la desviación del agua del río (Jiang et al., 2015).

La distribución de sedimentos es una contribución importante al conocimiento del componente físico (Chávez y Álvarez, 2006). La caracterización del sustrato sedimentario permite inferir los procesos y el nivel de energía para el transporte y depósito de sedimentos. Esto a su vez es una componente de las variables que condicionan la distribución y las modificaciones que puedan producirse en éste (Chávez y Álvarez, 2006).

Se han propuestos también muchos puntos de vista para la clasificación de partículas sedimentarias según el tamaño. En fluvial se acostumbra a utilizar la clasificación de American Geophysical Unión. En esta se clasifican y se indican también un umbral ya que se observan que $0,062$ mm es el tamaño máximo que tiene una partícula para hundirse en un cuerpo de agua siguiendo la ley de Stokes, pues el movimiento de una partícula de mayor tamaño provoca turbulencias que alteran apreciablemente dicha ley de sedimentación (Simons y Senturk, 1976).

Las estructuras sedimentarias comprenden diversos tipos de tamaño de partículas en su composición, pero generalmente las partículas de tamaño medio constituyen la mayor parte del volumen, con poco material en los extremos fino y grueso (distribución normal o distribución log normal). La distribución granulométrica de un lecho de grava tiende a una aproximación log normal si el tamaño de partículas es expresado en mm., o a una aproximación normal (Gaussiana) cuando se expresa el tamaño de partículas en unidades (Church y Kellerhals 1978).

La normalidad en la distribución es un requisito para facilitar varios análisis estadísticos, además es necesaria para (1) describir tamaños de las partículas en unidades de acuerdo con la transformación de unidades descritas, (2) para dar confianza en los resultados de la estadística descriptiva estándar de los procedimientos, (3) dar confianza en los resultados obtenidos basados en las ecuaciones del tamaño de muestra (Church et al. 1987).

En un sentido estadístico estricto, la distribución del tamaño de partículas en unidades a menudo no suele ser una distribución normalizada (Church y Kellerhals 1978; Church et al. 1987; Rice y Church, 1996), el grado de tolerancia de la desviación de la normalidad varía dependiendo del análisis estadístico previsto. Pequeñas desviaciones de la normalidad por lo general no plantean problemas a la hora la aplicación de las estadísticas que asumen la normalidad, pero las desviaciones mayores causan grandes errores. Si la normalidad supuesta es errónea, los resultados de parámetros estadísticos descriptivos (por ejemplo, la media, desviación estándar, asimetría y curtosis) pueden no ser exactos y no servir bien a la hora de la comparación entre muestras (Church y Kellerhals 1978; Church et al. 1987; Rice y Church, 1996)

2.4.3.1. Análisis granulométrico

La distribución granulométrica es el estudio de distribución de tamaño de partículas y de colección de elementos sólidos fraccionados. También se menciona que es la proporción de tamaño en donde presentan partículas de diferentes tamaños presente en el suelo, donde las muestras se tomaron en el campo, basándose en el resultado, se desarrollaron metodologías para limpiar y ser filtrados por un tamiz (Juarez y Rico, 1981).

El análisis mecánico de una muestra natural de sedimentos o suelo permite separara dicha muestra en diferentes fracciones según los tamaños de sus partículas. El cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro son los métodos que se siguen comúnmente para el análisis mecánico. El primero se utiliza para obtener las fracciones

correspondientes al material relativamente grueso, como las gravas y arenas el otro para determinar las fracciones tocantes al material fino como arcillas y limos (Juarez y Rico, 1981).

El análisis estadístico de las muestras de material de lechos de ríos comienza con el cálculo de la frecuencia del tamaño de partículas mediante un recuento de los elementos recolectados, luego se calcula el porcentaje de la distribución de frecuencia de estas muestras y por ultima se evalúa la frecuencia acumulada que deriva en la llamada distribución granulométrica de material en el lecho (Juarez y Rico, 1981).

2.5. Geomorfología Fluvial

La geomorfología fluvial (o hidrogeomorfología) tiene un papel relevante en la génesis y propagación de las crecidas y avenidas fluviales, así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes. Se ocupa de estudiar e interpretar las formas de la superficie terrestre de origen fluvial, dicho, en otros términos, se interesa por el sistema morfogenético fluvial (Diez Herrero, 2001; Moya et al., 1998; Marchetti, 2000).

El procedimiento abarca formas de proceso de modelado que determina empezando desde la acción de las aguas superficiales generalmente los encauces. Sin embargo, esta constituye el primordial factor modelado. Los factores del modelado en totalidad conforman a una progresiva de deslizamiento y achatamiento del relieve anteriormente existente (Diez Herrero, 2001; Marchetti, 2000).

Las investigaciones que aborden temas fluviales deben hacerlo desde una perspectiva integrada, esto es, considerando sus elementos en el análisis y realizando síntesis con las relaciones. El abordaje desde la perspectiva de sistemas morfogenéticos pareciera ser el más indicado ya que no sólo toma en cuenta las variables naturales sino también las antropogénicas (Diez Herrero, 2001; Marchetti, 2000).

2.6. Análisis de exploratorio

Los análisis de frecuencia son presentados mediante la descripción de tabulación por la distribución de tamaños de las partículas donde describimos el cribado de cada muestra no cohesivo, y los procedimientos del análisis granulométrico, al final se hace la presentación en gráfico de los datos con pesos o diámetros con distribución de tamaño de partículas del lecho (Bunte, 2001).

El primer paso es sumar y registrar la masa o cantidad total de las fracciones retenidas en los tamices y el depósito receptor. Seguidamente, se calcula el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas. A continuación, se ordena la información recopilada de acuerdo con el tamaño de clase (Bunte, 2001).

Los cuadros de la granulometría en representación serían: una distribución de frecuencia relativa (figuras en histograma) también curva de frecuencia acumulada, su curva creciente concluye en 100%, con algunos puntos de inflexión que tienen valores de tamaño de clase, donde su correspondencia es a los datos de distribución de frecuencia relativa (Bunte, 2001).

2.7. Análisis de conglomerado de datos

2.7.1. Métodos de clúster

Según De La Fuente (2011) menciona que, el Análisis Clúster, conocido como Análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. También Pedret et al. (2003) y Gallardo (s.f.) distinguen, a grandes rasgos, dos grandes categorías de métodos de agrupamiento para el análisis clúster: métodos jerárquicos y métodos no jerárquicos, las cuales fueron tomadas como referencia en este trabajo.

Estas metodologías poseen por objetivo agrupar clústeres y poder formar uno y dividir alguno que ya existe para dar origen a otros, de tal manera minimizando las funciones de distancias o también maximizando alguna medida de similitud (Gallardo, s.f.). A partir de ello se forman grupos de manera ascendente, Al final del procedimiento todos los casos están agrupados en un mismo conglomerado. Los métodos disociativos que abarcan a todos los variables de un grupo inicial van formando haciendo división de grupos cada vez menos numerosos al final del proceso (Gallardo, s.f.).

Puesto que la utilización del análisis clúster ya implica un desconocimiento o conocimiento incompleto de la clasificación de los datos, el investigador ha de ser consciente de la necesidad de emplear varios métodos, ninguno de ellos incuestionable, con el fin de contrastar los resultados (De La Fuente, 2011).

2.7.2. Prueba de Kolmogorov - Smirnov

La prueba Kolmogorov–Smirnov (K-S) es un test que se adecua al comportamiento de los datos, y se usa para la comprobación si las dos muestras son diferentes y siguen la misma distribución (Supo, 2015).

Prueba de normalidad, prueba del Kolmogorov-Smirnov cuando queremos comparar dos grupos y estos tienen distribución normal podemos construir los diagramas de caja y bigotes en función al error típico de la media, para los límites de la caja, si la línea media de un grupo se puede proyectar sobre el otro y éste se encuentra dentro de la caja veamos de ida como de vuelta entonces hay igualdad entre los dos grupos o no existe diferencia, si la proyección de la línea media sobre el otro grupo está fuera de la caja tanto de ida como de vuelta entonces los dos grupos son diferentes (Supo, 2015).

Entonces llegamos a la conclusión de que para comparar dos grupos las cajas deben ser simétricas es decir debe haber una distribución normal y como demostramos que existe distribución normal en los grupos de las variables entonces utilizamos la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Supo, 2015).

2.7.3. PDF Log Normal

PDF log normal son lo suficientemente flexibles como para hacer del log normal un modelo empírico muy útil. Además, la relación con lo normal (solo tome los logaritmos naturales de todos los datos y puntos de tiempo y tendrá datos "normales") facilita el trabajo matemático, con muchos buenos programas de análisis de software disponibles para tratar datos normales Nadarajah (2005).

En definición estadística se encuentran muchas versiones de la distribución log normal realizadas por Lawless (1982), Chen (1995) sin embargo existe otra versión presentada en esta sección elaborada a través de la transformación exponencial de las variables que prosiguen una distribución normal generalizada elaborado por Nadarajah (2005).

2.8. Estimación de parámetros

Las investigaciones por muestreo se usan para estimar parámetros de interés, la precisión de tal estimación se fundamenta en el tamaño muestral calculado para lograr un nivel de confianza y admitir un máximo de error de estimación. Mas al buscar desagregaciones por grupos de interés, es decir, pretender estimadores en subconjuntos

poblacionales denominados también áreas pequeñas o dominios, ocurre que o no se tiene un tamaño adecuado que garantice un error mínimo de estimación o peor aún no se cuenta con muestra en la subpoblación. Se hace necesario entonces, implementar métodos que ayuden en tales estimaciones de tal suerte que se garantice la representatividad; entre estos métodos se detectan los basados en el diseño muestral y aquellos que usan los modelos de probabilidad (Rao y Molina, 2012).

Los procedimientos de validación de algoritmos matemáticos se caracterizan empleando prácticas, esto se conoce como la estimación de los parámetros incógnitos que en ella se muestra, se plantea el problema de estimación de parámetros en ecuación diferencial ordinal de primer orden con una inicial fija y desarrollar una estrategia de solución instantáneo (Barrios et al., 2010).

Los parámetros son medidas descriptivas de toda una población. Sin embargo, sus valores por lo general se desconocen, porque es poco factible medir una población entera. Por eso, usted puede tomar una muestra aleatoria de la población para obtener estimaciones de los parámetros. Un objetivo del análisis estadístico es obtener estimaciones de los parámetros de la población, junto con la cantidad de error asociada con estas estimaciones. Estas estimaciones se conocen también como estadísticos de muestra (Pearson, 1894).

2.9. Regresión lineal simple

La regresión lineal simple, entendemos de un modelo de regresión cuando demostramos relación entre dos variables, pero no solamente una relación aleatoria sino, una relación causal es que el modelo de regresión lineal simple pertenece a un modelo predictivo, sin embargo que una correlación pertenece a una prueba de hipótesis (Supo, 2015).

Ejemplo: tenemos una variable llamada rendimiento académico o variable dependiente y una variable X_1 llamada horas de estudio a la semana, se supone que una persona mientras más horas de estudio tiene a la semana mayor rendimiento académico demostrara, esa relación está descartada se supone que cuando uno incrementa el número de horas de estudio a la semana incrementa también su rendimiento académico (Supo, 2015).

Entonces no estamos tratando de probar si existe esta relación no, vamos a ejecutar la prueba de hipótesis, esta relación existe lo que vamos a hacer es construir un modelo para predecir el rendimiento académico en función al número de horas de estudio a la semana suponiendo que el rendimiento académico depende únicamente de cuántas horas una persona le dedica al estudio a la semana (Supo, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general de la zona de estudio

El río Huallaga es una fuente de gravas y arenas con aguas de régimen no permanente y variable, su cuenca de drenaje se localiza en la Vertiente Sur del Atlántico, cordillera andina de la región Pasco y dividida su cabecera por dos cadenas montañosas con alturas por encima de los 1000 m. Por tanto, el tramo Chinchavito – Ramal, presenta sectores con características morfológicas diferentes, desde aquellos tramos casi rectos y pendientes relativamente fuertes (Chinchavito y Puerto Ángel) hasta tramos sinuosos y meándricos de pendientes bajas (Luyando y Ramal de Aspuzana) (Fuente propia).

En el recorrido del río, desde Chinchavito hasta Ramal de Aspuzana está presente el acarreo y depósito de materiales en bancales o playones (bolones, cantos rodados, gravas, arenas y limos arcillosos) como de los diferentes ríos y quebradas tributarias (Chinchao, Jarahuasi, Pavas, Pérez, Monzón, Santa Martha, Tulumayo, Anda, Pacae, Angashyacu y Aucayacu).

3.1.1. Ubicación política de los tramos de materiales

De acuerdo con el recorrido de las aguas del río Huallaga y las principales vías de acceso de Sur a Norte, Carretera Central y Fernando Belaunde Terry, los sedimentos del lecho del río Huallaga en el tramo Chinchao – Ramal, se encuentran en las localidades de Chinchavito, AA. HH. Las Orquídeas, Playa Tingo, Pueblo Nuevo, Aucayacu, y Ramal de Aspuzana comprendida en la provincia de Pachitea y Leoncio Prado de la región Huánuco y la provincia de Tocache de la región San Martín.

Tabla 1. Ubicación política de los tramos de sedimentos del lecho del río Huallaga, tramo Chaglla – Aucayacu.

Depósito de sedimentos	Ubicación política			
	Región	Provincia	Distrito	Localidad
Sector 1	Huánuco	Pachitea	Chaglla	Puerto Guadalupe
Sector 2	Huánuco	L.P.	Rupa Rupa	AA. HH “LO”
Sector 3	Huánuco	L.P.	Luyando	Naranjillo

Sector 4	Huánuco	L.P.	Pueblo Nuevo	Puerto Ángel
Sector 5	Huánuco	L.P.	J.C.C.	Aucayacu
Sector 6	San Martín	Tocache	Nuevo Progreso	R.A.

LP: Leoncio Prado, JCC: José Crespo y Castillo, AA.HH. LO: Asentamiento Humano "Las Orquídeas", RA: Ramal de Aspuzana.

Fuente: Propia.

3.1.2. Ubicación geográfica de los tramos de materiales

Los sectores, donde se realizó la investigación está ubicada geográficamente en las siguientes coordenadas UTM - WGS84 Zona 18S.

Tabla 2. Coordenadas geográficas de los tramos de sedimentos del lecho del río Huallaga, tramo Chaglla – Aucayacu.

Localidad	Coordenadas UTM		
	Este (m)	Norte(m)	Altitud (msnm)
Puerto Guadalupe	398286	8946222	780
A.A.H.H. Las Orquídeas	391304	8967625	674
Tingo María	389265	8970743	659
Pueblo nuevo	382501	8994063	576
Aucayacu	376519	9012794	578
Ramal	370509	90318364	610

Fuente: Datos recolectadas

3.1.3. Clima

Presenta un clima favorable para la actividad pecuaria durante todo el año, con una precipitación pluvial de 3300 mm al año, con periodo de máxima precipitación entre los meses de noviembre a marzo y mínima entre los meses de junio a agosto; los otros meses tienen precipitación pluvial intermedia. La temperatura promedio anual de 25 °C, con leves descensos en los meses de junio, julio y agosto (SENAMHI, 2019).

3.1.4. Zonas de vida

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de Holdridge (1997), los sectores de depósito de materiales del tramo Chaglla – Aucayacu, se encuentra dentro de la zona ecológica: Bosque muy Húmedo – Premontano Tropical (bmh - PT).

3.1.5. Hidrografía

La hidrografía del río Huallaga está conformada por diferentes redes tributarias entre ríos y quebradas que desembocan en sus aguas provenientes de la zona este y oeste de la parte alta de la cuenca, entre las más representativas tenemos, el río Huertas, Chinchao, Jarahuasi, Tambillo Grande, Cuevas de las Pavas, Quebrada Pérez, río Supte Grande, río Tulumayo, río Anda, río Angashyacu, río Aucayacu, entre otros (Fuente Propia).

3.1.6. Accesibilidad

El acceso a los 7 sectores de depósito de materiales del tramo Chinchao- Ramal desde la ciudad de Tingo María se sigue en dos direcciones por la carretera Central Fernando Belaunde Terry y con carreteras afirmadas que conectan a los tramos de sedimentos (canteras) asentados hacia la margen izquierda o derecha del lecho del río Huallaga.

Tabla 3. Accesos desde Tingo María a los sectores del tramo Chaglla – Aucayacu.

De - a	Tipo de vía de acceso	Modo de transporte	Distancia (Km)	Tiempo (hr. min.)
Tingo María - Chinchao	Carretera Asfaltada y Afirmada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	47,5	1.hr.
Tingo María – AA.HH “Las orquídeas”	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	2,5	10 min
Tingo María – Luyando	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	1,5	5 min
Tingo María - Pueblo Nuevo	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	35	35 min
Tingo María – Aucayacu	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	54,9	1hr 3min.
Tingo María – Ramal	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, transporte Publico, etc.	83,5	1 hr 24min.

Fuente: Propia.

3.2. Materiales, herramientas y equipos

3.2.1. Materiales

- Costales 40 unidades.
- Wincha.
- Plumones de tinta indeleble.
- Tazón de plástico.
- Marco de PVC.
- Cuaderno de apuntes.
- Lapicero.
- Botas.

3.2.2. Las herramientas de campo

- Rastrillos.
- Lampa.
- Barreta.
- Pico.

3.2.3. Equipos de laboratorio

- Cronómetro.
- Vernier.
- Juego de tamices de 1” a 200”
- Probetas de 10 ,500,1000ml
- Cepillo metálico.
- Guantes.
- Vaso de precipitado de 500ml
- Estufa.
- Balanza electrónica.

3.2.4. Programa de computo

- Laptop Core i7
- Hoja de cálculo.
- Google Earth
- ArcGIS

3.3. Metodología

3.3.1. Identificación de los sedimentos de fondo del río Huallaga

La identificación de los sedimentos de fondo del cauce del río Huallaga, consistió en el reconocimiento de la geomorfología de los procesos fluviales (barras, rifles y piscinas) que forman parte del lecho del río (Mark, 1998). Esta pudo conseguirse durante la temporada de escasas lluvias durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre y la disposición del lugar de fácil acceso.

Las geoformas forman parte del cauce durante la crecida de las aguas del río donde se manifiesta la deposición y formación de los sedimentos originarios de fondo en la capa superficial y Subsuperficial (Bravo-Espinosa et al., 2004). Durante el recorrido de Sur a Norte del río Huallaga con la Carretera Central y vías anexas, se cuenta con seis tramos del sedimento de fondo del cauce, como son: Chinchavito, Orquídeas, Luyando, Puerto Ángel, Aucayacu y Ramal de Aspuzana.

a) Selección de un tramo representativo del lecho del río

Se localizará tramos o sitios estables, representativos de las condiciones medias del río, donde ocurre el proceso hidráulico y sedimentación, no debe encontrarse próximo al flujo de corrientes tributarias que interfieran con la homogeneidad de la sección y provisión de los sedimentos por deposición, tampoco debe localizarse adyacente a una zona de erosión de bancos.

Lugares de muestreo en un punto de barras laterales puede exhibir una considerable variación en la velocidad del flujo como la gradación donde el tamaño del grano sigue un patrón definido.

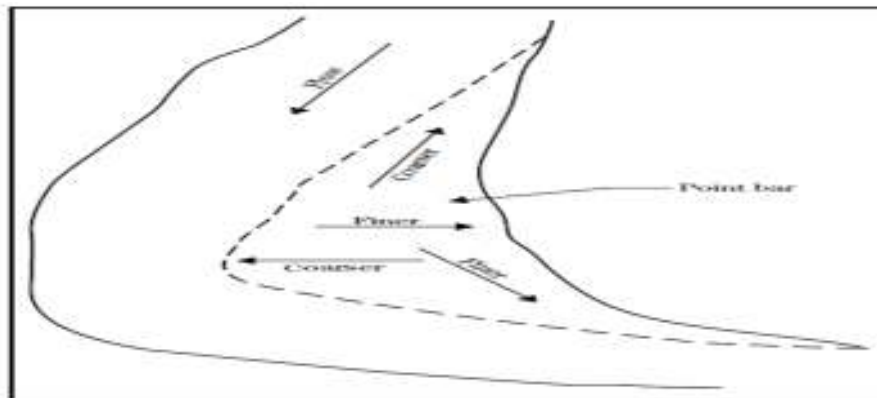


Figura 5. Patrón de gradación en un punto de la barra más fino (finer) y más grueso (coarser).

Considerando que los lechos gruesos (gravas, cantos y piedras) se caracteriza por una significativa variabilidad vertical, espacial y temporal, la estratificación podría estar formado por materiales más finos separados de aquellos superficiales, cuya coraza está protegida de sedimentos de cantos rodados y piedras mientras la barra consiste de gravas y arenas.

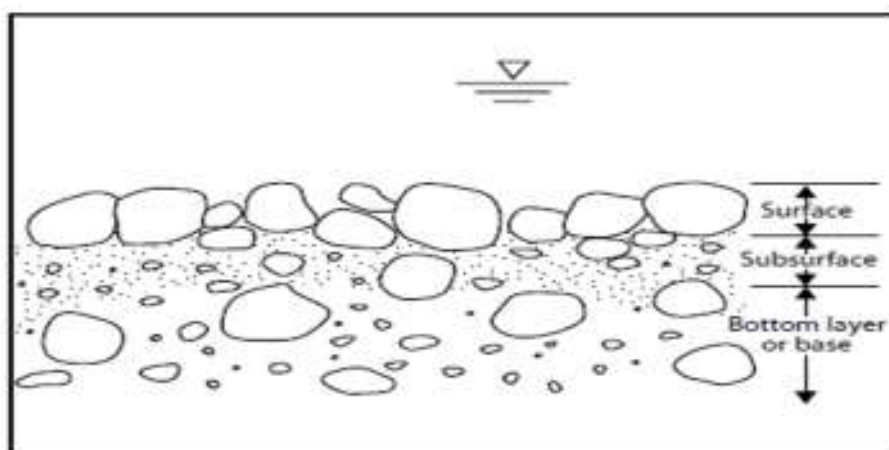


Figura 6. Variación vertical en el perfil de una coraza de lechos de sedimento grueso.

b) Variabilidad climática

Clima

La ejecución de la tesis se realizó en los meses de septiembre - febrero 2020 y el muestreo se realizó en los meses de setiembre y noviembre del año 2019. El clima en los meses de setiembre – noviembre del año 2019 fueron veranos y son cortos, muy caliente y mayormente nublados y los inviernos son cortos, caliente y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 30 °C y rara vez baja a menos de 17 °C o sube a más de 32 °C (SENAMHI, 2019).

Temperatura

La temporada calurosa dura 2.0 meses, del 19 de agosto al 21 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 30 °C. El mes más caluroso del año es el mes de setiembre, con una temperatura máxima promedio de 30 °C y una temperatura mínima promedio de 21 °C.

La temporada fresca dura 1.6 meses, del 30 de mayo al 18 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 28 °C. El día más frío del año es el 17 de julio, con una temperatura mínima promedio de 19 °C y máxima promedio de 28 °C (SENAMHI, 2019).

Precipitación

La temporada más seca dura 5,7 meses, del 26 de abril al 16 de octubre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 13 %. A veces el verano incrementa más días, en este caso en el año 2019 el verano fue hasta el mes de noviembre y con tranquilidad de podía recolectar las muestras (SENAMHI, 2019).

3.3.2. Localización y muestreo de los sedimentos de fondo en la coraza del cauce

Luego de identificar los tramos de sedimentos de fondo del río Huallaga y su geoforma, se situó dos puntos de muestreo, intermedio y perpendicular con la dirección del flujo de las aguas crecientes del río, característica que los granos resistieron a la fuerza de movimiento de las aguas y han constituido la formación de la coraza del fondo por mucho tiempo. (Anexo A, Figura 36).

La época de muestreo corresponde a la temporada de estiaje durante los meses de junio a agosto. El número de muestras fueron dos (02) por metro cuadrado ubicados en los extremos de las barras, rifles y/o piscinas, etc. Se ha requerido 30 kg de sedimentos (superficial y subsuperficial) con un total de 04 muestra de 120 Kg.

Para realizar el muestreo de sedimentos superficial y subsuperficial de los seis tramos se ocuparon las siguientes herramientas palana, rastrillo, marco de tubo y sacos para el muestreo superficial y subsuperficial. La recolección de la muestra superficial se colocó un marco de tubo de PVC de 50x80 cm, luego con la ayuda de un rastillo se extrajo los sedimentos y se colocó en sacos etiquetados (Diplas y Fripp, 1992).

Diplas y Fripp (1992) el muestreo subsuperficial de los sedimentos del fondo, se identificó la roca superficial de mayor diámetro en el eje b o eje c perpendicular al eje longitudinal más largo del punto de muestreo, para excavar cuatro veces hasta la coraza. Se efectuaron 12 perforaciones (dos por cada tramo) con un total de 24 muestras. Posteriormente, se determinó las distancias aguas abajo entre tramos del muestreo de sedimentos (Anexo A, Figura 36).

Considerando que los lechos gruesos (gravas, cantos y piedras) se caracteriza por una significativa variabilidad vertical, espacial y temporal, la estratificación podría estar formado por materiales más finos separados de aquellos superficiales, cuya coraza está protegida de sedimentos de cantos rodados y piedras mientras la barra consiste de gravas y arenas (Figura, 7).

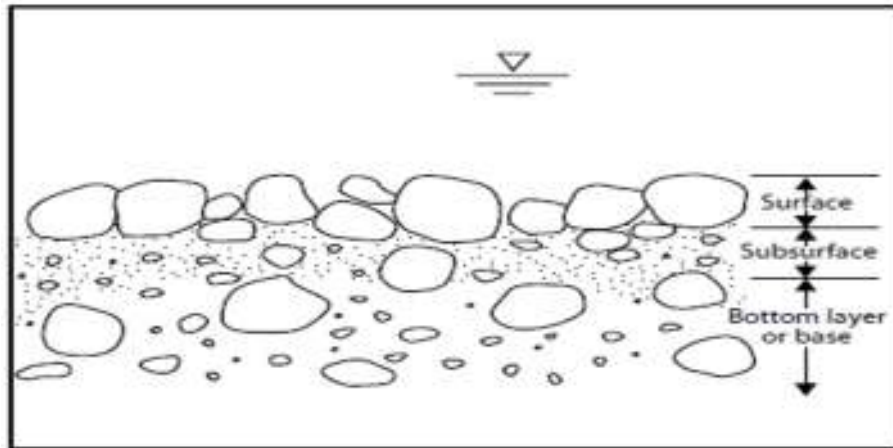


Figura 7. Variación vertical en el perfil de una coraza de lechos de sedimento grueso.

a) Muestreo

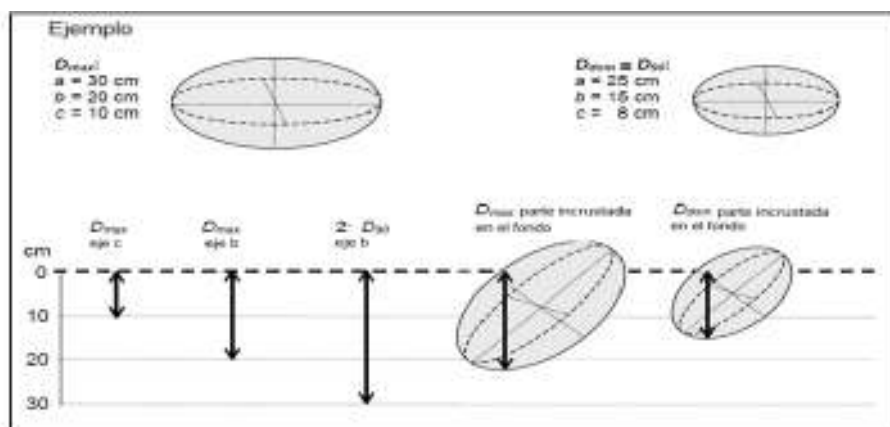
Considerando la coraza del fondo de un lecho de gravas, las muestras a obtener serán:

- Muestreo superficial

Consiste en la extracción y marcado de las partículas de la primera capa del lecho con el apoyo de un rastrillo y un marcador indeleble, son todas las partículas expuestas en superficie al flujo de agua. El grosor de esta capa viene definido por la profundidad a la cual llega la partícula más grande expuesta. El área de extracción se delimita según la fórmula propuesta por Diplas y Fripp (1994) citado por Celso y Martin (2001).

$$\text{ÁREA} = 100D_{\text{máx}}^2 \quad (5)$$

Siendo $D_{\text{máx}}$ el eje b o anchura de una partícula o eje perpendicular al eje longitudinal más largo en metros. Se tomará al menos 4 muestras del lugar, luego los sedimentos serán puestos en las bolsas y etiquetados para su estudio.



(Fuente: Bunde y Abt, 2001)

Figura 8. Representación gráfica de los diferentes espesores que podría tener la coraza superficial de acuerdo con el criterio utilizado.

b) Tipos de sedimentos

Es difícil indicar con exactitud completamente las fuentes que se generan sedimentos que invocan directamente al río y que son arrastrados por las corrientes. No obstante, conforme a la definición, la fuente primordial lo conforman el suelo y las rocas que se sitúan en la cuenca, los primordiales agentes de erosión son el agua y el viento, por otro lado, también la actividad humana (García y Maza, s/f).

- a). Erosión de la capa delgada del suelo.
- b) Erosión del río principal y secundarios.
- c). Movimiento natural del suelo.

3.3.3. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de las 24 muestras de sedimentos de fondo del río Huallaga se realizó en el laboratorio del PEAH. (Diplas et al., 2008) cada una de las muestras se dividieron en cuatro partes iguales y se escogieron las dos partes opuestas para el análisis granulométrico, previamente se lavaron y dejaron secar por 12 horas en la estufa, luego se obtuvo el peso seco de la muestra para ser tamizadas, es decir separar los granos en los rangos de los tamices con aberturas de 4", 3", 2" 1 ½ ", 1", 3/4", N°4, N°8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°80 y N°100 (Anexo, Cuadro 24 al 29).

El peso de las partículas retenidas en cada malla se codificaron para obtener las curvas granulométricas y las medidas de sus propiedades físicas.

3.3.4. Análisis exploratorio de datos

Según García (1978) los materiales sedimentarios se clasifican según la American Geophysical Unión (Cuadro 4), a partir del análisis granulométrico disponible de las muestras de sedimentos se exploró la distribución de los tamaños de una colección grande de partículas sedimentarias no cohesivas por cada tramo del lecho del río.

Tabla 4. Clasificación del American Geophysical Unión (1987) para partículas sedimentarias.

Grupos	clases	tamaños en mm
Bolos	Muy grande	2048-4096
	grande	1024-2048
	medianos	512-1024
	pequeños	256-512
Cantos	grandes	128-258
	pequeños	64-128
Grava	Muy grande	32-64
	Gruesa	16-32
	Mediana	8-16
	Fina	4_8
	Muy fina	2_4
Arena	Muy grande	1_2
	Gruesa	0,5-1
	mediana	0,25 -0,5
	fina	0,125 -0,25
	muy fina	0,062 -0,125
Limo	Grueso	0,031-0,062
	medianos	0,016-0,031
	fino	0,008-0,016
	muy fino	0,004-0,008
Arcilla	gruesa	0,002-0,004
	Mediana	0,001-0,002
	muy fina	0,00024-0,0005

Fuente: García (1978).

El análisis exploratorio de los granos se realizó a cada una de las muestras subsuperficiales, permitió conocer sus principales estadísticos de medida central, tendencia y repartición de los sedimentos de fondo, y con esto, realizar la prueba de ajuste a una función de distribución de probabilidad.

Asimismo, los granos retenidos por cada malla fueron agrupados por su similitud de pesos y geoformas para obtener las medidas de sus propiedades individuales y conjuntas.

c) Por agrupación de datos

Con los pesos de los granos retenidos por tamices, se establecieron los valores de clase ordenados en forma decreciente, para realizar los cálculos se seleccionó el valor mínimo X_{\min} y el valor máximo X_{\max} de los granos, enseguida se calcula el rango de las muestras y se selecciona los diecinueve números de intervalos de clase (tamices) que dependen del tamaño de la muestra. Dividir el rango natural entre el rango empírico es igual a uno, esto hace incrementar el rango Δx incluyendo un intervalo más el mismo que resulta de agregar medio intervalo ($\Delta x/2$) en cada extremo de la serie ordenada a fin de que el valor mínimo y el valor máximo sean respectivamente las marcas de clases de la primera y última clase.

El rango es igual a:

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (6)$$

El número de clase del intervalo de clase NC corresponde a los rangos de tamices empleados el análisis granulométrico de sedimentos gruesos.

La amplitud de cada intervalo de clase Δx , se calculó según la ecuación:

$$\Delta x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{NC - 1} = \frac{R}{NC - 1} \quad (7)$$

El límite de clase se calculó el límite de clase se divide el NC-1 se logra que valor mínimo y valor máximo queden centrados y representan las marcas de la clase de primera y última clase los límites clase inferiores y superiores del primer intervalo de clase son X_{\min} y X_{\max} (Supo, 2015).

$$LCI = X_{\min} - \Delta x/2 \quad (8)$$

$$LCS = X_{\min} + \Delta x/2 = LCI + \Delta x \quad (9)$$

Los límites de clases se obtienen sumando la amplitud Δx al límite de clases antecedentes.

La marca de clase se calculó de los promedios de los límites de clase del ultimo intervalo igual al valor máximo, es decir marca de clase ($X_{\min} - X_{\max}$), las otras clases se obtuvieron sumando la amplitud Δx a las marcas de clase.

Se definieron los intervalos por sus límites de clases de la frecuencia y números de intervalos. La frecuencia absoluta se definió en los intervalos por sus límites de clases, igual al número de observaciones que caen dentro de cada intervalo definido por sus límites de clases respectivos, la misma que se obtiene por conteo así se obtiene:

$$F_{abi} = n_i \quad (10)$$

Donde:

F_{abi} : frecuencia absoluta del intervalo.

n_i : número de observaciones en el intervalo.

La frecuencia relativa f_{ri} de cada intervalo es igual a la frecuencia absoluta del mismo, dividido entre el número total de observaciones.

$$f_{ri} = \frac{f_{abi}}{N} = \frac{n_i}{N} \quad (11)$$

$$f_{ri} = \frac{f_{abi}}{N} = \frac{n_i}{N} \quad (12)$$

La frecuencia relativa acumulada F_{rj} usando la formula

$$F_{rj} = \sum_{j=1}^i f_{rj} = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^i n_j \quad (13)$$

Donde:

F_{rj} : Frecuencia relativa acumulada hasta el intervalo i

j : 1,2,...,i acumulación de los intervalos hasta i

d) Por conglomerado de datos

De acuerdo con Pedret et al. (2003) y Gallardo (s.f.) el análisis de conglomerados de datos, se distinguen dos grandes categorías de métodos de agrupamiento para el análisis clúster: métodos jerárquicos y métodos no jerárquicos, el cual fue tomado para este estudio.

El método jerárquico tiene por objetivo agrupar clústeres para formar uno nuevo o bien separar alguno ya existente para dar origen a otros dos, de tal forma que se minimice alguna función de distancias o bien se maximice alguna medida de similitud (Supo, 2015).

Asimismo, este método se subdivide a su vez en aglomerativos y disociativos. Los aglomerativos comienzan el análisis con tantos grupos como individuos haya en el estudio. A partir de ahí se van formando grupos de forma ascendente, hasta que al final del proceso todos los casos están englobados en un mismo conglomerado (Supo, 2015).

Luego de realizar el análisis exploratorio de los datos y comprender la asociación de la distribución de los sedimentos de fondo con la geoforma y la proximidad de los pesos por tamices se eligió esta última medida con los pares de tramos: Chinchavito con Puerto Ángel (rifles), Orquídeas con Aucayacu (barras) y Luyando con Ramal de Aspuzana (barras) para clasificar las propiedades conjuntas de los granos, para esto se formó una matriz de proximidad de los pesos de los granos por tamiz con los pares de tramos, utilizando la distancia euclidiana al cuadrado sobre las variables consideradas para su análisis.

Luego se eligió el criterio de agrupamiento por el algoritmo de Ward formando seis conglomerados por cada uno de los pares de tramos por su geoforma hasta agruparlo en solo un clúster.

El dendograma muestra los pesos y la distancia a la que fueron agrupadas en diferentes etapas, representando gráficamente el proceso observado en la matriz de pertenencia. La distancia que mostró el dendograma guarda la relación con las distancias acumuladas y los clústeres.

3.3.5. Propiedades individuales y conjuntas de los sedimentos de fondo

Las propiedades individuales del sedimento de fondo comprenden desde sus dimensiones triaxiales a la forma, esfericidad, redondez de las partículas gruesas, los índices de planidad, grosor y largura, mientras las conjuntas son el ángulo de reposo, el peso específico, sumergido y volumétrico y la distribución granulométrica (Maza y García, s.f.).

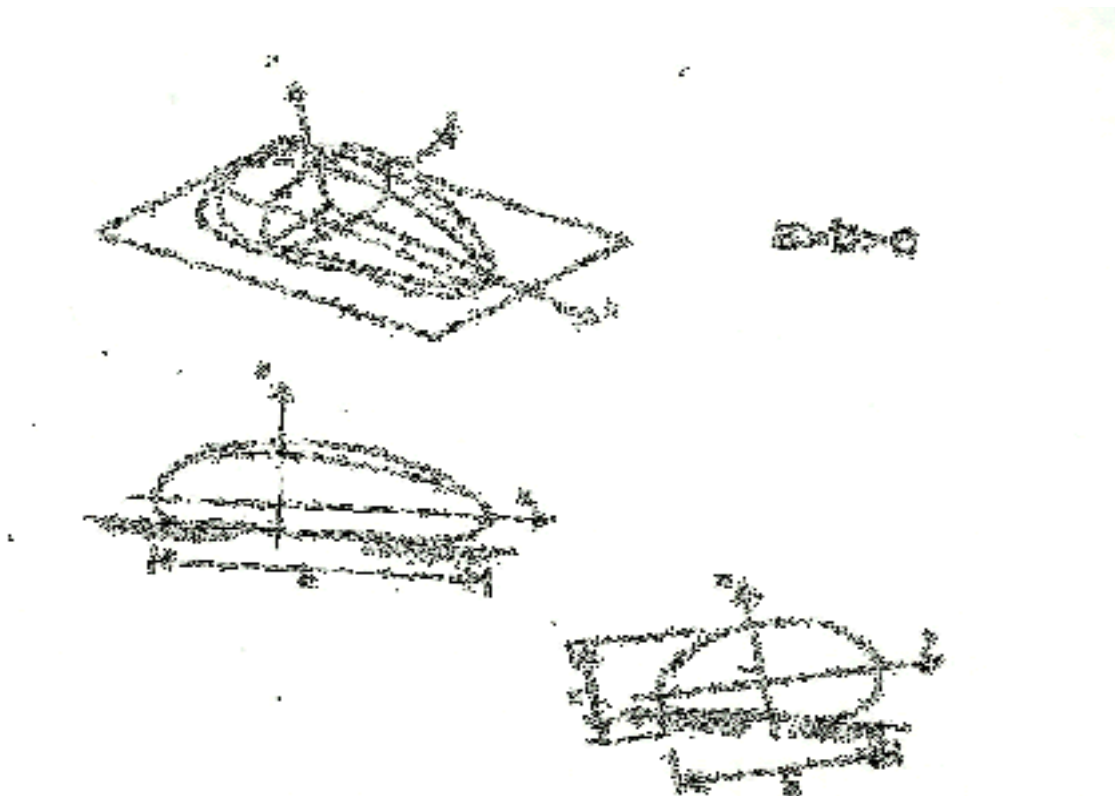
Maza y García s.f., las medidas de las propiedades se realizaron a los granos retenidos en cada uno de los intervalos de tamaños de los tamices de la prueba de granulométrica. Asimismo, la distribución granulométrica específica o característica requirió previa exploración de similitud un ajuste a la función de distribución de probabilidad Normal y Logaritmo Normal.

3.1.1.1. Las propiedades individuales son:

a) Dimensiones triaxiales

Según (Maza y García, s.f.) el tamaño de una partícula puede definirse en función de sus tres dimensiones características de las mismas, las cuales se denotan, en orden decreciente de magnitud, con las letras a, b, c, o sea $a > b > c$, medidas en la dirección de tres ejes que sean ortogonales entre sí, haciendo coincidir uno de ellos, con la mayor dimensión de la partícula, ya que con ellas se pretende determinar el largo, ancho y espesor de la partícula.

Las medidas de las dimensiones triaxiales a los granos se realizaron con un vernier por cada clase de los tamices.



Fuente: (García y Maza, s.f.).

Figura 9. Esquema de las dimensiones triaxiales de una partícula.

b) Factor Forma (SF)

Según (Shulits 1941) la forma de los granos o partículas se definen con sus dimensiones triaxiales a, b y c, como esferoides, discos, rollos y láminas. El valor del factor forma se obtiene con la fórmula:

$$SF = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (14)$$

c) Esfericidad (g)

El grado de las partículas que se aproximan a una esfera de acuerdo con (Wadell, 1932) se obtienen con los valores de la relación b/a y c/b según la fórmula:

$$g = \left[\left(\frac{b}{a} \right)^2 \frac{c}{b} \right]^{1/3} \quad (15)$$

d) Índice de planidad (Ip), grosor (Ig) y largura (II)

(Wadell 1932) definieron el índice de planicidad de una partícula i_p , en términos de sus dimensiones triaxiales, puede ser igual a uno o mayor y sus valores varía de 1.05 a 10, cuanto más grande es el índice de planicidad tanto más aplanada es la partícula como una laja como indica la fórmula:

$$i_p = \frac{a + b}{2c} \quad (16)$$

e) Redondez

Maza y García s.f., utilizando la tabla de índice de valores de SF relacionados con la redondez se identificaron el grado de redondez de cada partícula mostrando tan chato o puntiagudos están los filos o aristas que delinean el contorno de la partícula si muestras angulosidades o sea cantos o bordes puntiagudos tendrá un índice bajo de redondez si sus bordes o esquinas están redondeados donde observamos el desgaste y deterioro que ha sufrido la partícula al viajar relativamente poco.

Tabla 5. Valores de SF relacionados con la redondez por Garde y Ranga Raju (1985).

Redondez	Descripción	SF	
1. Muy angular	Partículas con superficies de fractura recientes, múltiples aristas y bordes cortantes.	0,12	0,17
2. Angular	Presentan esquinas y bordes ásperos, lastiman, no son cortantes o afiliadas sino de formas más bien prismáticas.	0,17	0,25
3. Sub angular	Se distinguen bordes y aristas, pero están despuntadas o ligeramente redondeadas.	0,25	0,35
4. Sub redondeada	Se distinguen, pero no se sienten las aristas ni los bordes. Se aprecia que estos han sido redondeados.	0,35	0,49
5. Redondeada	Tiende a equidimensional, no se diferencian esquinas o puntas al rotarlo con los dedos	0,49	0,7
6. Bien redondeado	Partículas con superficie llana o pulida. Aproximadamente esféricas o elipsoidales.	0,7	1

f) Ángulo de reposo (θ)

Según (Simons y Senturk, 1976). El ángulo de reposo de los materiales como las arenas y gravas su ángulo de reposo decrece con el incremento del tamaño de la partícula hasta alcanzar un mínimo, luego del cual el ángulo de reposo aumenta nuevamente para las arenas y gravas el valor mínimo de θ ocurre con un valor de $d=2,4$ mm, en estos contenidos se debe tener en cuenta las curvas de que menciona, que son diferentes más para tamaños de piedras pequeñas y tienen como función directa los tamaños medios y angulosos de la partícula o piedra según la formula.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{radio}}{\text{altura}} \quad (17)$$

g) Peso específico (γ_s)

Según (Maza y García, s.f.) define el peso específico como la relación del peso del grano y su volumen sin considerar los vacíos entre ellas, la fórmula es:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (18)$$

El peso específico observado de los granos corresponde a los retenidos de los tamices del análisis granulométrico.

h) Peso sumergido (Δ)

Según (Maza y García, s.f.) esta propiedad es el conjunto del peso sumergido, se experimenta cuando las partículas están dentro del agua y, se observa el empuje hidráulico que influye en el peso específico mediante la fórmula:

$$\Delta \approx S'_s \approx S_s - 1 = \frac{\rho_s - \rho'}{\rho} = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (19)$$

i) Peso volumétrico (Υ)

En esta propiedad se estudia el peso de las partículas entre el volumen total que ocupa el conjunto, contenidos dentro de él los huecos o vacíos. Sus unidades y dimensiones son las mismas que las indicadas para el peso específico.

Según (Maza y García, s.f.) en el peso volumétrico de una muestra de sedimento que distinguen en el peso volumétrico seco que se tiene cuando todos los vacíos están ocupados por aire, parcialmente saturado y el sumergido cuando parte o la totalidad de ellos están ocupados por agua el peso volumétrico es útil para estimar la vida útil y los periodos.

$$\Upsilon = \frac{\text{peso sólido}}{\text{volumen total}} = \frac{W\delta}{Vt} \quad (20)$$

j) Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, es decir las unidades en el sistema internacional son Kg/m³, la densidad varía con la temperatura a 4 °C el agua tiene una densidad del 1000 Kg/m³ (Simmons y Senturk ,1976).

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (21)$$

3.3.6. Curva granulométrica característica de los sedimentos

La curva granulométrica característica de los sedimentos de fondo del río Huallaga son representativas de un grupo de las muestras subsuperficiales de mayor tamaño (5 kg) donde las diferencias de los porcentajes de pesos de granos que pasan por tamices son menores por el peso y número de las muestras con la similitud de la forma del lecho del río examinadas por conglomerados (Ramírez et al., 2004).

La granulometría característica del material que constituye el lecho del tramo del río Huallaga se determinó obteniendo la curva representativa de las aglomeraciones de las cuatro muestras de dos tramos del río, Chinchavito con Puerto Ángel, Orquídeas con Aucayacu y Luyando con Ramal de Aspuzana.

Cada curva representativa granulométrica representada en una gráfica semi logarítmica por la frecuencia acumulada de los pesos que pasan según los diámetros de una función de distribución de probabilidad ha requerido lo siguiente:

a) Prueba de bondad de ajuste

De acuerdo con (Villon, 1984), la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov se compara las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \quad (22)$$

El procedimiento seguido fue:

- Se calculó la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto se usó la frecuencia empírica de Weibull.

$$P(x) = \frac{M}{N + 1} \quad (23)$$

Donde:

M: número de orden.

N: número de datos.

- Se calculó la probabilidad teórica $F(x)$ de la función de distribución de probabilidad Normal.
- Se Calculó las diferencias $P(x) - F(x)$ para todos los valores de x
- Se seleccionó la máxima diferencia Δ observada.
- Se calculó el valor crítico del estadístico Δ es decir Δ° para la $\alpha = 0,05$ y N igual al número de datos los valores de Δ° se muestran la tabla

Tabla 6. Valor crítico de Δ° del estadístico Smirnov-Kolmogorov.

Tamaños	Niveles de significación α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23

Fuente: Tablas estadísticas, Test de Kolmogorov-Smirnov.

- Comparar el valor estadístico Δ con el valor crítico Δ° con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación:

Si $\Delta < \Delta^\circ$ = ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$\Delta > \Delta^\circ$ = el ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado

b) Estimación de parámetros

Para caracterizar la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen el material del cauce (García, 1978), la estimación de parámetros se realizó por el método analítico (momentos) y diámetros característicos (observados) como sigue:

- Se obtuvo los diámetros observados de la curva granulométrica por tramo y los tramos agrupados según su similitud de geoformas y pesos de granos.
- Se determinó el por ciento de material retenido en cada malla, es decir la frecuencia relativa del intervalo de tamices P_i
- Se fijó el diámetro correspondiente a la marca de clase de cada intervalo, luego se calculó la semisuma de las aberturas de las mallas consecutivas que definen el intervalo de clase de los tamices empleados para granos gruesos.
- Seguidamente se obtiene el diámetro medio D_m , y la variancia de la distribución σ^2 :

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (24)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_m)^2 P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (25)$$

Los parámetros estadísticos estimados según los diámetros característicos (observados) consistió:

- La curva granulométrica de un tramo y agrupado por tramos fueron divididas el eje de las abscisas en déciles, o sea en diez intervalos de 0,1, para con los diámetros observados determinar la marca de clase.
- Luego se obtuvo el diámetro medio D_m

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i D_i}{\sum_{i=1}^n \Delta P_i} \quad (26)$$

- La mediana de la distribución, D_{50} es el diámetro observado al 50% que pasa.
- La desviación estándar de la distribución σ es igual a:

$$\sigma = \frac{(D_{84} - D_{16})}{2} \quad (27)$$

c) Diámetros característicos

Conocido los parámetros estadísticos para una ley de distribución Normal y Log-Normal obtenidos por momentos y diámetros característicos observados, se obtuvieron los diámetros característicos de los sedimentos de fondo de la muestra subsuperficial como aquellos de las agrupaciones por similitud de forma y peso.

Los diámetros de las partículas que siguen una función de distribución de probabilidad Normal se han descrito por medio de la ecuación:

$$D_n = D_{50} + Z_n \sigma \quad (28)$$

Donde D_n es el diámetro característico para una frecuencia determinada, D_{50} es la mediana, Z_n es la variable estandarizada y σ es la desviación estándar.

Asimismo, los diámetros de las partículas que siguen una función de distribución de probabilidad Logaritmo Normal se han descrito por medio de la ecuación:

$$D_n = D_{50} (\sigma_g)^{Z_n} \quad (29)$$

Donde D_n es el diámetro característico para una frecuencia determinada, D_{50} es la mediana, Z_n es la variable estandarizada y σ es la desviación estándar.

3.3.7. Variación del tamaño de las partículas con la distancia aguas abajo del río Huallaga

Para explicar la relación que existe entre la variable respuesta Y, los diámetros característicos observados y calculados según la variable explicativa X, el recorrido aguas abajo del río Huallaga como un gran agente de formación de los sedimentos, se realizó un análisis de regresión y correlación para evidenciar la variación de los tamaños de las partículas. El procedimiento es el siguiente:

1. Por cada par de valores de “x” e “y” se calculó las cantidades “x²”, “y²”, y “x.y”
2. Obtuvo las sumas de estos valores para todos los pares de datos “x” e “y”, así como las sumas del total de los valores de “x” e “y”. Los resultados de los pasos 1 y 2 aparecerán en forma similar a la siguiente:

Tabla 7. Formato de la variable respuesta Y, los diámetros característicos observados y calculados según la variable explicativa X

Número de pares de datos	x	x ²	Y	y ²	x · y
1					
2					
3					
.					
.					
.					
n					
Monto de las sumas	$\sum x$	$\sum x^2$	$\sum y$	$\sum y^2$	$\sum xy$

Fuente: Propio.

3. Luego se estimó la pendiente (b) por medio de la relación:

$$b = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (30)$$

4. Se calculó el intercepto (a) por medio de la relación:

$$a = \left[\frac{\sum y}{n} - \left(b \cdot \frac{\sum x}{n} \right) \right] \quad (31)$$

A partir de esos valores de “a” y de “b” es posible trazar la línea recta mejor ajustada a los puntos de x, y, para verificar si están bien expresados por la línea. La correlación entre dos variables o el grado de asociación entre las mismas esta expresado por un único valor llamado coeficiente de correlación r, el cual puede tener valores que oscilan entre -1 +1. Cuando “r” de correlación negativa significa que una variable, sea “x” o “y” tiende a decrecer cuando la otra aumenta, correspondiente a un valor negativo de “b”, mientras “r” de correlación positiva significa que una variable se incrementa al hacerse mayor la otra, cual corresponde a un valor positivo de “b”. Los valores de “r” se calculó a partir de la relación:

$$r^2 = \frac{\sum xy - \left[\frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \right]^2}{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]} \quad (32)$$

Esfuerzo crítico

El tamaño y gradación del material como su variación vertical (coraza superficial y subsuperficial) y espacial (composición y distribución de los granos) de los sedimentos están relacionados con la evaluación y diseño de cauces y la explotación de materiales, tanto en él, esfuerzo cortante crítico, velocidades máximas permisibles, cálculo del transporte de sedimentos; necesariamente para una diversidad de propósitos de estudios de ingeniería y ambiente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Sedimentos de fondo en el lecho del río Huallaga

En la tabla 4 muestra, la geomorfología fluvial y su distancia aguas abajo reconocido en los tramos del río Huallaga como la localización, radio y profundidad a la coraza de los sedimentos de fondo observados.

Se aprecia la semejanza de las formas de barras en los tramos de Ramal de Aspuzana, Aucayacu, Luyando y Orquídeas, y rifles en Puerto Ángel y Chinchavito (Tabla 8).

Tabla 8. Identificación de los tramos del río Huallaga.

Tramos	Dist. km	Forma	Radio cm	PC cm	Este	Norte
Chinchavito	27,83	Rifle	12,5	65	398295	8946224
			14	70	398325	8946293
Orquídea	12,59	Barras	11	65	391311	8967640
			10	60	391353	8967560
Luyando	20,79	Barras	8,5	50	390072	8978601
			9,5	55	390100	8978880
Puerto Ángel	24,1	Rifle	12	55	388201	8994063
			14	60	388258	8994090
Aucayacu	26,07	Barras	9,5	50	376860	9011909
			11	60	376891	9011928
R de Aspuzana	15,33	Barras	7	62	370098	9031791
			9	64	370042	9031847

R de Aspuzana: Ramal de Aspuzana, Dist: Distancias aguas abajo (km), PC: Profundidad de coraza (cm), Este y Norte: Coordenadas UTM.
Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron formas de sedimentos del fondo del río Huallaga en donde se aprecian semejanzas de las formas de barras en los tramos de Ramal de Aspuzana, Aucayacu, Luyando y Orquídeas, comúnmente las formas de barras se presentan en canales (ríos) serpenteantes (Bluck, 1971; Bridge y Jarvis, 1976) el afinado de la barra descendente también es característico de las barras intermedias en los ríos trenzados (Boothroyd y Ashley, 1975; Bluck, 1982). Las formas de rifles se presentaron en los depósitos de Puerto Ángel y Chinchavito, Sin embargo, la influencia del control topográfico de la estructura del flujo y el

sedimento son las vías de transporte en la clasificación del material del lecho, las formas de riffle se presentan en los canales (ríos) rectos suelen ser más gruesos y mejor clasificados que los canales adyacentes. (Keller, 1971; Lisle, 1979).

4.1.1. Análisis exploratorio de datos

4.1.1.1. Datos agrupados

En la tabla 9, muestra las principales medidas descriptivas, diámetro medio, desviación estándar y coeficiente de variación de los sedimentos de fondo observados por tramos. Los sedimentos de mayor diámetro medio corresponden a los tramos de Orquídeas y Chinchavito, superiores a Puerto Ángel y Aucayacu, Ramal de Aspuzana y finalmente Luyando, con más detalle encontramos en las figuras 7. Además, se evidencia la alta variabilidad en los tamaños de las partículas en los tramos Orquídeas y Chinchavito, este comportamiento de heterogeneidad de los datos se reportó en los primeros tramos de las partes altas del río Huallaga.

De otro lado, los diámetros observados en Puerto Ángel y Aucayacu tienen una variabilidad de 43% y 46% respecto a la media, mientras Luyando y Ramal de Aspuzana de 73% y 52%, finalmente Chinchavito y Orquídeas una variabilidad superior a 100% (Tabla 9, Figura 10).

Tabla 9. Medidas descriptivas de los sedimentos de fondo por tramos.

Tramos	D_m	S	CV
Chinchavito	62,75	65,45	1,04
Orquídea	95,71	100,15	1,05
Luyando	41,32	30,21	0,73
Puerto Ángel	60,74	26,08	0,43
Aucayacu	58,41	27,14	0,46
Ramal de Aspuzana	54,82	28,52	0,52

D_m: diámetro medio (mm), S: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad climática que representa la cuenca Huallaga es debido a su ubicación geográfica y otros factores intervinientes que permiten la dinámica del proceso natural de erosión, transporte y sedimentación que se ha venido dando desde siempre y da forma al

paisaje actual. Los sedimentos son procedentes de fenómenos o procesos naturales y pueden ser transportados de distintas formas por el flujo en una corriente (Julien, 2010). El transporte de sedimentos en ríos se puede dar por rodamiento o deslizamiento, a saltos por el fondo el flujo denominado “carga de fondo” y en suspensión es decir soportado por la turbulencia dentro del flujo denominado “carga en suspensión” (Apacla, 2014).

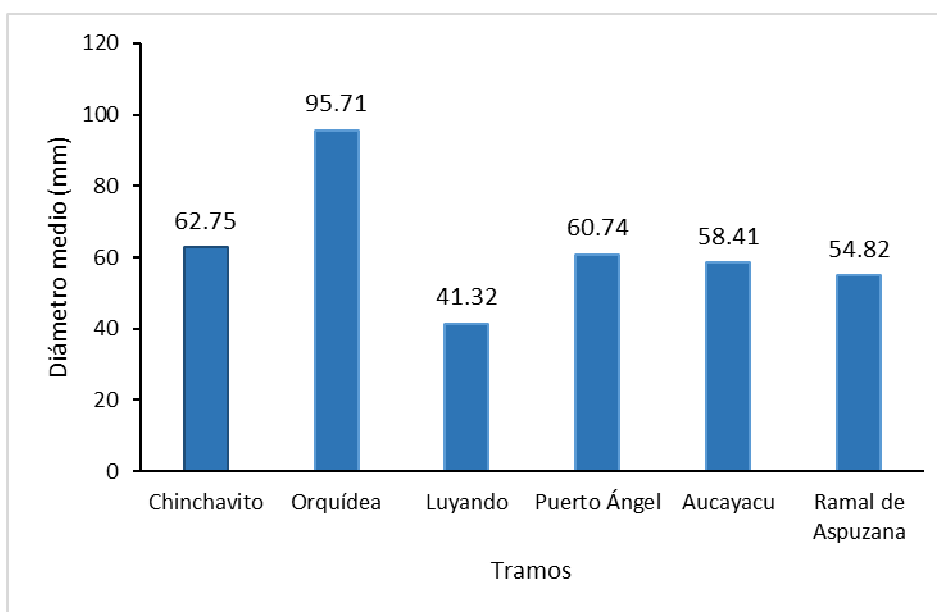


Figura 10. Diámetros medios de los seis tramos en estudio.

Mientras los tramos agrupados por similitud de la geomorfología fluvial y pesos observados de los espacios de tamices, se muestra el diámetro medio, desviación estándar y coeficiente de variación. Los tres tramos reconocidos presentan una variación respecto a la media del 46%, 52% y 56% (Tabla 10, Figura 11).

Tabla 10. Medidas descriptivas de los sedimentos de fondo por tramo agrupado.

Tramo	D _m	S	CV
Chinchavito - Puerto Ángel	58,83	26,97	0,46
Orquídea - Aucayacu	57,56	29,91	0,52
Luyando - Ramal de Aspuzana	48,69	27,42	0,56

D_m: diámetro medio, S: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia.

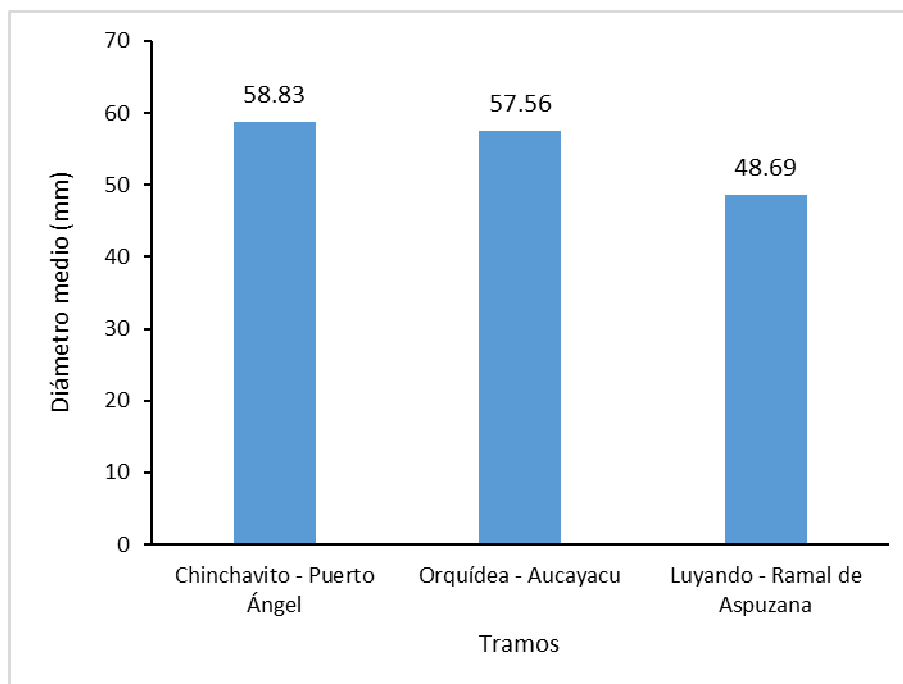


Figura 11. Diámetros medios de fondo por tramo agrupado.

Los tamaños de partículas de rocas de mayor diámetro medio corresponden a los tramos de Orquídeas y Chinchavito perteneciente a los tramos de la parte alta en estudio, superiores a Puerto Ángel, Aucayacu, Ramal de Aspuzana finalmente Luyando, a este comportamiento (Ramírez et al, 2004) menciona que, los mayores tamaños de sedimentos se encuentran en la parte alta del cauce, donde predominan las gravas y las piedras (70 % del total) con un tamaño medio de aproximadamente 7,0 mm. También es posible identificar tramos de granulometría relativamente homogénea, el tamaño del material del río es influenciado por la pendiente, siendo notoria una disminución del diámetro del material en dirección aguas abajo (dirección en que la pendiente del río disminuye). Sin embargo, es importante anotar que en algunos sectores esta tendencia se ve alterada por el aporte de material grueso de los ríos tributarios, lo cual origina un incremento en el tamaño de los sedimentos en dichos sectores.

4.1.1.2. Conglomerado de datos

La agrupación de los pesos de sedimentos de fondo del río según el método de Ward (1963) por distancia euclidiana cuadrada. Cada uno de los pares de los pesos agrupados, tramos Chinchavito y Puerto Ángel (PCHSUB y PANSUB), Orquídeas y Aucayacu (PORQSUB y PAUSUB); Luyando y Ramal de Aspuzana (PLUSUB y PRASUB) muestra la presencia y semejanza en la distribución de los granos como la recurrencia (Figura 12).

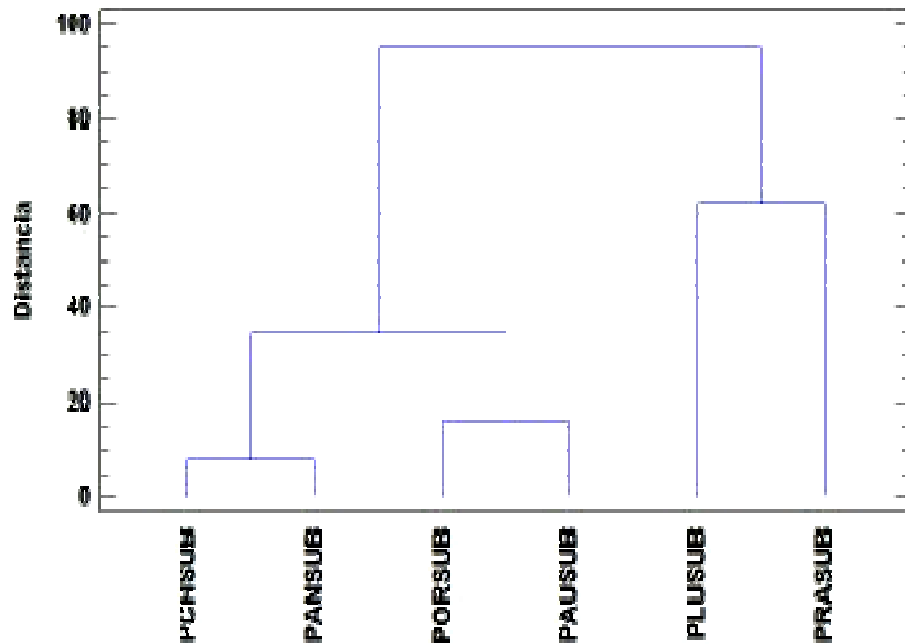


Figura 12. Dendrograma de los pesos de sedimentos de fondo por tramos.

Los pesos de sedimentos de fondo de los tramos del río Chinchavito y Puerto Ángel de forma rifles, corresponden a la clase de granos de cantos pequeños a arena fina y arena muy fina con mayor presencia los cantos y las gravas. Mientras los tramos Orquídeas y Aucayacu de forma barras laterales presentan la misma clase y presencia de granos.

Finalmente, los tramos de forma de barras laterales, Luyando corresponden a la clase de granos de cantos pequeños y arenas muy finas con mayor presencia las gravas y arenas. Ramal de Aspuzana muestra la clase de granos de gravas muy gruesas a arenas finas con mayor presencia de gravas y arenas.

4.1.1.3. Prueba de normalidad

Muestra la comparación de las diferencias entre las frecuencias empíricas acumuladas de los diámetros observados Δ_o (Experimentación) con las frecuencias teóricas acumuladas Δ_t (A través de los datos) obtenida a partir de la distribución de probabilidad Normal (modelo teórico capaz de aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria a una situación ideal) verificando los sedimentos observados en todos los tramos del río Huallaga siguen la misma distribución alrededor de su media (Tabla 11).

Tabla 11. Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov.

Tramo	Δt	Δo	Prueba
Chinchavito	0,565	0,397	Se acepta la hipótesis Ho
Puerto Ángel	0,565	0,360	Se acepta la hipótesis Ho
Orquídea	0,565	0,339	Se acepta la hipótesis Ho
Aucayacu	0,565	0,212	Se acepta la hipótesis Ho
Luyando	0,565	0,303	Se acepta la hipótesis Ho
Ramal	0,565	0,451	Se acepta la hipótesis Ho

ΔO = Delta observado, Δt = Delta tabulado.

Fuente: Elaboración propio.

De igual manera, los sedimentos de fondo observados y agrupados por tramo siguen una distribución normal (Tabla 12).

Tabla 12. Agrupados de datos prueba de normalidad.

Tramo	Δt	Δo	Prueba
Chinchavito -Puerto Ángel	0,565	0,3803	Se acepta la hipótesis Ho
Orquídea-Aucayacu	0,565	0,4133	Se acepta la hipótesis Ho
Luyando -Ramal	0,565	0,4257	Se acepta la hipótesis Ho

ΔO = Delta observado, Δc = Delta tabulado.

Fuente: Elaboración propio.

4.2. Propiedades individuales y conjuntas de los sedimentos de fondo

4.2.1. Propiedades individuales

El diámetro de los sedimentos de fondo $D_{84\%}$, los sedimentos con mayores dimensiones medias triaxiales (largo, ancho y espesor) se encuentra en el tramo de Puerto Ángel y el de menor dimensión en el tramo de Ramal de Aspuzana. Prosiguiendo con los índices de planicidad, los sedimentos más planos se encuentran en el tramo de Orquídeas con un índice de 2,31, índice de grosor menor se encuentra también en el tramo de Orquídeas y el índice más largo se encuentra tramo Puerto Ángel. Finalmente, los sedimentos con mayor densidad se encuentran en el tramo de Ramal de Aspuzana con $10857,14 \text{ kg/m}^3$ este depende de su composición mineralógica (Tabla 13).

El diámetro de los sedimentos de fondo $D_{75\%}$, los sedimentos con menores dimensiones medias triaxiales (largo, ancho y espesor) se encuentra en el tramo de Ramal de Aspuzana y el de mayor dimensión en el tramo de Puerto Ángel. Con el mayor índice de planicidad fue el tramo de Puerto Ángel con un índice de 2,05, índice de grosor menor se encuentra en el tramo de Orquídeas y el índice más largo se encuentra en el tramo Ramal de Aspuzana. Finalmente, los sedimentos con mayor densidad se encuentran en el tramo de Chinchavito con $6585,89 \text{ kg/m}^3$ (Tabla 13).

El diámetro de los sedimentos de fondo $D_{50\%}$, los sedimentos con menores dimensiones medias triaxiales (largo, ancho y espesor) se encuentran en el tramo de Luyando y el de mayor dimensión en el tramo de Aucayacu y los índices de planicidad mayor se encuentra en el tramo de Aucayacu, índice de grosor reducido se encuentra en el tramo de Aucayacu y el índice más largo se encuentra en el tramo Ramal de Aspuzana. Finalmente, los sedimentos con mayor densidad se encuentran en el depósito de Ramal de Aspuzana con $13939,47 \text{ kg/m}^3$ esta propiedad física depende de su composición mineral (Tabla 13).

El diámetro de los sedimentos de fondo $D_{16\%}$, con menores dimensiones promedios triaxiales (largo, ancho y espesor) se encuentran en el depósito de Luyando y Aucayacu, el de mayor dimensión en el depósito de Chinchavito. Los índices de planicidad encontramos sedimentos con mayor índice en el depósito de Chinchavito (planidad 2,26, grosor 0,71, largura 2,16), otro dato interesante se muestra en la columna de índice de grosor, en donde los datos se mantienen con un intervalo mínimo, mientras los datos promedios varia en las columnas de índice planidad y largura, entonces indica que los sedimentos se desgastan por los vértices y terminan en forma de bola. Finalmente, el depósito con mayor densidad se encuentra en Aucayacu (Tabla 13).

Tabla 13. Propiedades individuales de los sedimentos de subsuperficial del rio Huallaga.

Diámetro	Tramos	a (cm)	b (cm)	c (cm)	(I _p)	(I _g)	(I _l)	P (Kg/m ³)
$D_{84\%}$	C	7,07	5,03	3,02	1,59	0,41	1	5505,61
	O	8,76	6,42	3,09	2,31	0,38	1,1	4752,69
	L	4,06	3,19	2,15	1,05	0,41	0,77	3728,74
	P	11,42	8,73	5,13	2,12	0,61	1,32	3063,5
	A	6,46	4,84	3,56	0,96	0,45	0,8	5758,53
	R	4,26	3,14	2,23	1,58	0,56	1,13	10857,14

D _{75%}	C	6,85	4,78	3,17	1,52	0,49	1,11	6585,89
	O	8,27	6,09	3,25	1,99	0,44	1,11	4581,55
	L	5,13	3,69	2,47	1,69	0,61	1,27	2976,95
	P	8,68	6,58	3,72	2,05	0,55	1,26	3799,65
	A	7,59	5,58	3,68	1,5	0,53	1,1	4903,1
	R	5,02	3,53	2,51	1,98	0,71	1,5	3195,66
D _{50%}	C	2,6	1,63	0,95	2,22	0,6	1,61	12603,97
	O	4,22	2,57	1,84	1,96	0,71	1,66	2424,12
	L	1,06	0,64	0,47	1,85	0,76	1,69	8429,17
	P	3,65	2,46	1,5	2,19	0,6	1,53	868,09
	A	5,65	3,67	2,06	2,33	0,58	1,59	5612,3
	R	1,4	0,81	0,56	2,15	0,7	1,79	13939,47
D _{16%}	C	1,52	0,7	0,5	2,26	0,71	2,16	24125
	O	1,34	0,71	0,49	2,15	0,71	1,89	3822,42
	L	1,16	0,68	0,49	1,95	0,7	1,64	8137,5
	P	1,22	0,74	0,54	1,97	0,76	1,7	14895,44
	A	1,16	0,77	0,55	1,99	0,72	1,53	37614,29
	R	-	-	-	-	-	-	-

a: Largo, b: Ancho, c: Espesor, Lp: Índice de planidad, Ig: Índice de grosor, II: Índice de largura, ρ : Densidad, D: Diámetro, Tramos (C: Chinchavito, O: Orquídeas, L: Luyando, P: Puerto Ángel, A: Aucayacu, R: Ramal de Aspuzana).

Fuente: Elaboración propia.

En el diámetro de los sedimentos de fondo D_{84%}, D_{75%}, D_{50%}, D_{16%} sobre las dimensiones medias triaxiales (largo, ancho y espesor), se registró partículas de menor tamaño en dimensión en los tramos aguas abajo, este comportamiento de los tamaños de los sedimentos disminuye hacia aguas abajo en un río aluvial debido a los efectos de la abrasión, meteorización y fraccionamiento en su desplazamiento y a la clasificación hidráulica debido al transporte diferencial de las partículas de distintos tamaños (Shulits, 1941). En algunos tramos había alteraciones por el aporte de las partículas de mayor tamaño, sin embargo, es importante anotar que en algunos sectores esta tendencia se ve alterada por el aporte de material grueso de los ríos tributarios, lo cual origina un incremento en el tamaño de los sedimentos en dichos sectores (Ramírez et al., 2004).

Los índices indican un orden o clasificación, que tiene rangos o intervalos de tolerancia, de acuerdo a ello permite tomar decisiones, en este caso sobre las dimensiones de sedimentos, el índice de planidad puede ser igual a uno o mayor. Según (García y Maza, s.f.; citado en Cailleux, 1985) el índice de planidad de partículas naturales varía de 1,05 a 10 cuanto más grande es el índice de planidad, tanto más aplanada es la partícula, como una laja. Por otra parte, la redondez es un parámetro que da una idea cuantitativa de que tan chatos o puntiagudos están los filos o aristas que delinean el contorno de la partícula: si una partícula muestra angulosidades, o sea cantos o bordes puntiagudos, tendrá un índice bajo de redondez; si por el contrario exhibe aristas romas o filos achatados, tendrá entonces un índice alto de redondez. Así, por ejemplo, una partícula de forma alargada tendrá un alto grado de redondez si sus bordes o esquinas están redondeadas (García y Maza, s.f.), los seis tramos se clasificaron en redondeado y sub redondeado.

Los sedimentos con mayor densidad se encuentran en los tramos aguas abajo; Sin embargo, (García y Maza, s.f.) indica que el tamaño de una partícula suele definirse en términos de su volumen o de su velocidad de caída o por los tamaños de abertura de la malla de una criba o por sus dimensiones triaxiales. También menciona (Gessler, 1971; Miller et al., 1977; Hammond et al., 1984) el valor constante bajo la condición hidráulicamente áspera de los ríos naturales con lecho de grava. Por consiguiente, los esfuerzos cortantes críticos son directamente proporcionales al tamaño de partícula, lo que sugiere que el peso de las partículas es la fuerza principal que restringe el movimiento. Partículas más grandes, debido a su mayor inercia, son intrínsecamente menos móviles que las partículas más pequeñas y requieren mayores esfuerzos cortante para arrastrarlos.

4.2.2. Propiedades conjuntas

De acuerdo con la clasificación de las partículas naturales de las rocas pueden asumir un sin número de formas, según el grado de rodadura que ha sufrido el fragmento. De acuerdo con la clasificación granulométrica se observa en los diámetros 84%, 75%, 50% y 16% con una clasificación de grava fina en el depósito de Luyando, un ángulo de reposo de 56,24°. El índice de redondez promedio está en un intervalo de 0,77 a 0,53 en los seis tramos en estudio. El peso específico o verdadero determina su composición mineralógica de las partículas, cuanto más lejos es la distancia que sufre el grado de rodadura incluyendo factores relacionadas, las partículas en cada punto (depósito o cantera) son diferentes mientras más pequeño sea su diámetro mayor será su capacidad de penetrar (Tabla 14).

Tabla 14. Propiedades conjuntas de los sedimentos de subsuperficial del río Huallaga.

Diámetro	Tramos	C.G	Θ°	g	8e (g/cm³)	8Δ (m³)
D _{84%}	C	G.M.G	54,92	0,66 (Red)	222,93	213,13
	O	C.P	65,03	0,63 (Sub red)	116,56	106,76
	L	G.F	56,24	0,60 (Red)	228,90	219,10
	P	C.P	58,76	0,70 (Sub red)	108,56	98,76
	A	C.P	52,80	0,77(Red)	111,52	101,72
	R	G.G	59,06	0,69 (Red)	28,85	19,05
D _{75%}	C	G.M.G	54,92	0,66 (Red)	222,93	213,13
	O	C.P	65,02	0,63 (Sub red)	116,56	106,76
	L	G.F	56,24	0,60 (Red)	228,90	219,10
	P	G.M.G	61,58	0,69 (Sub red)	148,15	138,15
	A	C.P	52,80	0,77(Red)	111,52	101,72
	R	G.F	54,00	0,66 (Red)	588,60	578,80
D _{50%}	C	G.G	62,15	0,61 (Red)	46,84	37,04
	O	G.M.G	53,66	0,65 (Red)	79,58	69,78
	L	G.F	56,24	0,60 (Red)	228,90	219,10
	P	G.M.G	56,73	0,53 (Red)	57,23	47,43
	A	G.M.G	54,92	0,66(Red)	107,56	96,97
	R	G.F	57,53	0,53 (Red)	567,95	558,15
D _{16%}	C	G.F	58,28	0,59 (Sub red)	339,20	329,46
	O	G.G	52,38	0,57 (Red)	98,10	10,00
	L	G.F	56,24	0,60 (Red)	228,90	219,10
	P	G.M	52,84	0,66 (Red)	17,09	7,29
	A	G.M	52,84	0,66 (Red)	17,09	7,29
	R	G.F	54,00	0,66 (Red)	588,60	578,80

D: Diámetro, C: Chinchavito, O: Orquídeas, L: Luyando, P: Puerto Ángel, A: Aucayacu, R: Ramal de Aspuzana, C.G: Clasificación granulométrica, G.G: Grava gruesa, G.M: Grava mediana, G.M.G: Grava muy grande, G.F: Grava fina, C.P: Cantos pequeños, Θ°: Ángulo de reposo, g: Redondez, Red: Redondeado, Sub red: Sub redondeado, 8e: Peso específico, 8Δ: peso sumergido.

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de la granulometría permite ver cómo están distribuidos (organizado) los tamaños de las partículas del sedimento, en los seis tramos en estudio se clasificaron en los diámetros de $D_{84\%}$, $D_{75\%}$, $D_{50\%}$ y $D_{16\%}$ en clases de cantos pequeños, grava muy grande, grava gruesa, grava mediana y grava fina, esta clasificación se siguió la metodología de American Geophysical Unión para partículas sedimentarias. También en las investigaciones de Ibisate, et al., (2012) en donde caracterizaron sedimentos clasificaron como cantos y gravas de mayor predominancia.

4.3. Diámetros específicos de los sedimentos de fondo

4.3.1. Estimación de parámetros

Muestra los parámetros estimados de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo por tramo del río Huallaga (Tabla 15).

De acuerdo con (Villon, 1984), la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov se compara las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo.

Tabla 15. Parámetros de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo por tramos.

Tramos	PDF Normal		PDF Log Normal	
	D_m	σ	D_{50}	σ_g
Chinchavito	23,44	32,76	15,08	2,56
Puerto Ángel	33,07	34,63	19,93	2,74
Orquídea	36,29	32,44	23,84	2,50
Aucayacu	34,00	33,20	27,54	1,91
Luyando	11,24	32,80	7,36	2,51
Ramal de Aspuzana	6,31	14,57	4,58	2,23

D_m : diámetro medio mm, σ = desviación estándar, σ_g = desviación estándar geométrica.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, en la tabla 16 muestra los parámetros estimados de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo agrupados por tramo.

Tabla 16. Parámetros de la distribución de probabilidad Normal y Log Normal de los sedimentos de fondo por tramos (agrupados).

Tramos	PDF Normal		PDF Log Normal	
	D _m	σ	D ₅₀	σ _g
Chinchavito - Puerto Ángel	27,7	17,11	17,14	2,66
Orquídea - Aucayacu	34,58	17,73	25,25	2,21
Luyando - Ramal de Aspuzana	10,19	13,57	6,07	2,77

D_m: diámetro medio mm, σ = desviación estándar, σ_g = desviación estándar geométrica.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Curva granulométrica específica

La figura 13, representa las curvas granulométricas de tamaños homogéneos de muestras específicas de sedimentos del fondo del río Huallaga por tramos agrupados: Orquídeas y Aucayacu, según la geomorfología fluvial que pertenece al análisis granulométrico de cantos y arenas. Las cuatro muestras utilizadas presentan una distribución de tamaño parecida, D_{50%} = 30,92 mm (ORQ M₁), D_{50%} = 39,02 mm (ORQ M₂), D_{50%} = 42,32 mm (AUC M₁) y D_{50%} = 54,45 mm (AUC M₂).

La figura 14, representa las curvas granulométricas de tamaños homogéneas de muestras específicas de sedimentos del fondo del río, por tramos agrupados: Luyando y Ramal de Aspuzana, según la geomorfología fluvial que pertenece el análisis granulométrico de cantos y arenas de los diámetros de los granos. Las cuatro muestras utilizadas presentan una distribución de tamaño similar, D_{50%} = 0,840 mm (LUY M₁), D_{50%} = 5,10 mm (LUY M₂), D_{50%} = 18,32 mm (RA M₁) y D_{50%} = 11,52 mm (RA M₂).

La figura 15, representa las curvas granulométricas de tamaños homogéneas de muestras específicas de sedimentos del fondo del río, por tramos agrupados: Chinchavito y Puerto Ángel, según el origen geomorfológica fluvial que pertenece el análisis granulométrico de cantos y arenas de los diámetros de los granos. Las cuatro muestras utilizadas presentan una distribución de tamaño semejante, D_{50%} = 21,52 mm (CH M₁), D_{50%} = 46,05 mm (CH M₂), D_{50%} = 22,49 mm (PA M₁) y D_{50%} = 50,80 mm (PA M₂).

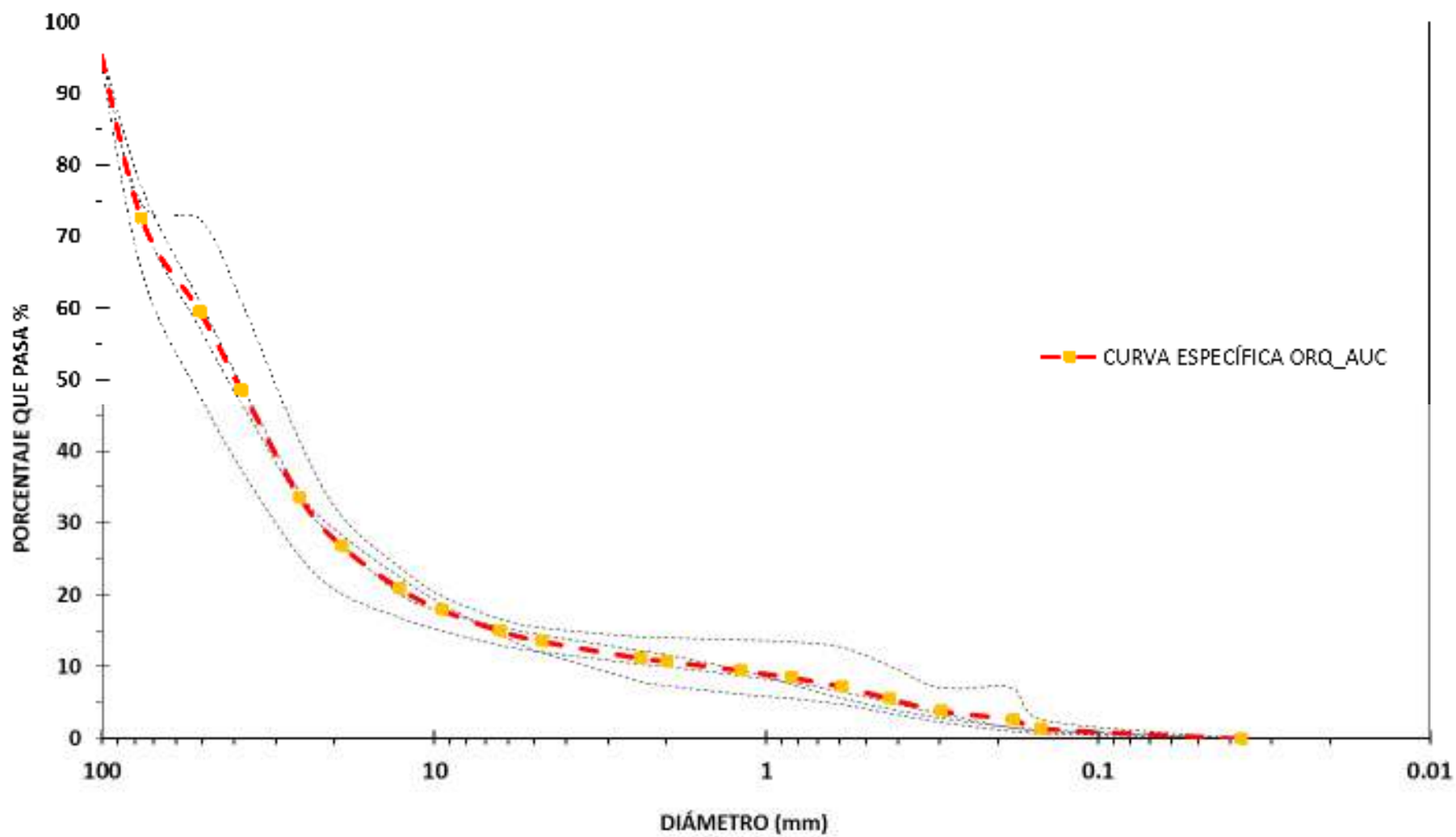


Figura 13. Curva granulométrica específica Orquídeas y Aucayacu.

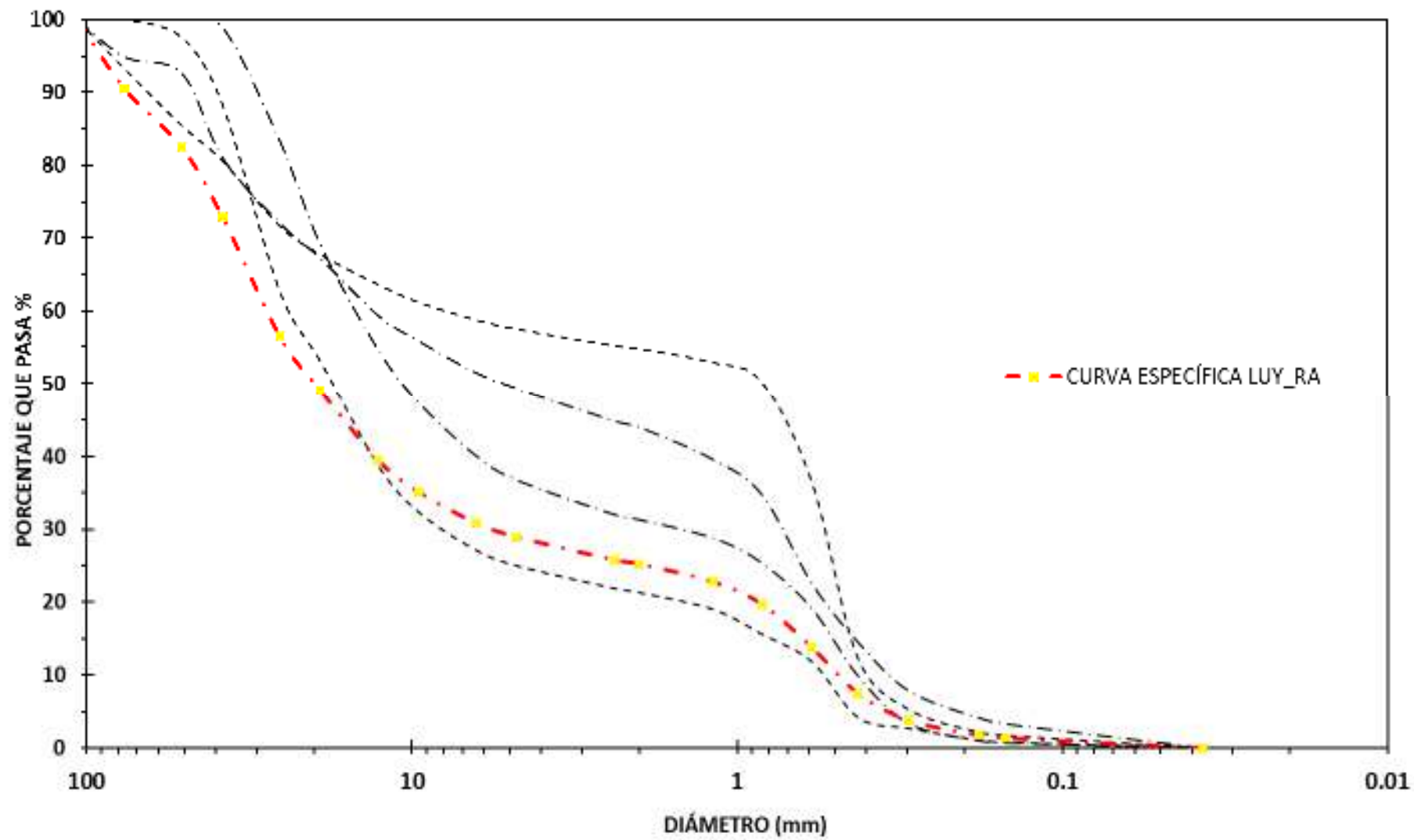


Figura 14. Curva granulométrica específica Luyando y Ramal de Aspuzana.

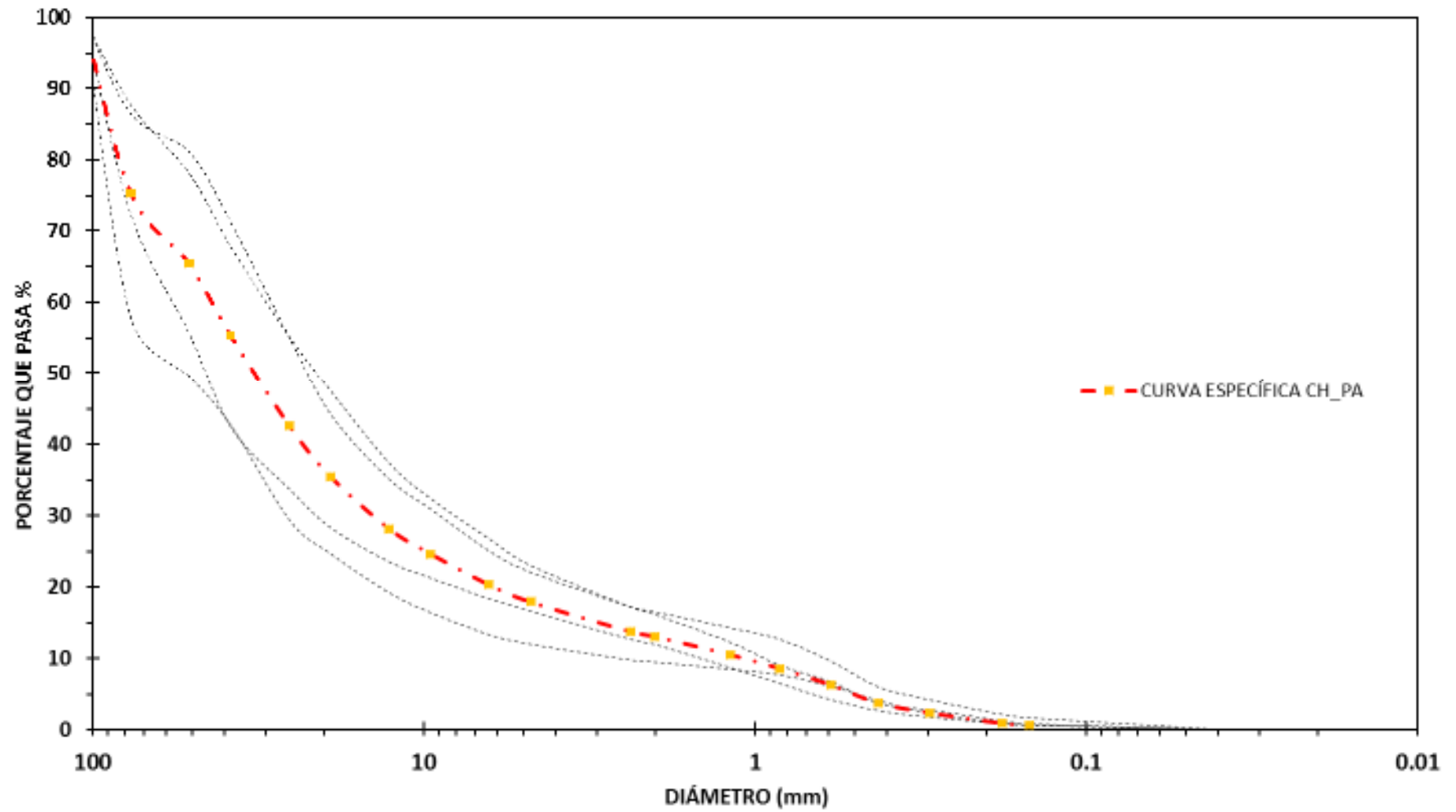


Figura 15. Curva granulométrica específica Chinchavito y Puerto Ángel.

4.3.3. Diámetros característicos estimados

En las tablas 17 y 18 muestran los diámetros característicos $D_{16\%}$, $D_{25\%}$, $D_{50\%}$, $D_{75\%}$, y $D_{84\%}$ estimados según la función de distribución de probabilidad Logaritmo Normal por tramo y tramos agrupados.

Tabla 17. Diámetros característicos estimados por tramos.

Tramos	D_n	PDF
		Log Normal
Ramal de Aspuzana	$D_{16\%}$	2,07
	$D_{25\%}$	2,67
	$D_{50\%}$	4,58
	$D_{75\%}$	7,86
	$D_{84\%}$	10,15
Luyando	$D_{16\%}$	2,95
	$D_{25\%}$	3,96
	$D_{50\%}$	7,36
	$D_{75\%}$	13,69
	$D_{84\%}$	18,38
Aucayacu	$D_{16\%}$	14,44
	$D_{25\%}$	17,78
	$D_{50\%}$	27,54
	$D_{75\%}$	42,67
	$D_{84\%}$	52,51
Orquídeas	$D_{16\%}$	9,58
	$D_{25\%}$	12,85
	$D_{50\%}$	23,84
	$D_{75\%}$	44,24
	$D_{84\%}$	59,33

Chinchavito	D _{16%}	5,93
	D _{25%}	8,00
	D _{50%}	15,08
	D _{75%}	28,42
	D _{84%}	38,38
Puerto Ángel	D _{16%}	7,33
	D _{25%}	10,11
	D _{50%}	19,93
	D _{75%}	39,29
	D _{84%}	54,22

D_n: Diámetro nominal, PDF: Función de distribución de probabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Diámetros característicos estimados por agrupación.

Tramo	%	D _n
		Log normal
Chinchavito y Puerto Ángel	D _{16%}	6,47
	D _{25%}	8,85
	D _{50%}	17,14
	D _{75%}	33,19
	D _{84%}	45,41
Luyando y Ramal de Aspuzana	D _{16%}	2,21
	D _{25%}	3,06
	D _{50%}	6,07
	D _{75%}	12,06
	D _{84%}	16,70
Aucayacu y Orquídeas	D _{16%}	2,21
	D _{25%}	3,06
	D _{50%}	6,07
	D _{75%}	12,06
	D _{84%}	16,70

%; Porcentaje del diámetro de partículas. Fuente: Elaboración propia.

Los diámetros medios encontrados en los tramos del río Huallaga son Chinchavito 23,44mm, Puerto Ángel 33,07mm, Orquídea 36,29mm, Aucayacu 34,00mm, Luyando 11,24mm y Ramal de Aspuzana 6,31mm. El grosor de una partícula, es de gran importancia ya que determina el umbral del movimiento del material del lecho y por lo tanto el calibre de las partículas transportadas. La rodadura de esta coraza permite el arrastre de las partículas más finas del substrato. Hecho que se utiliza para explicar por qué el tamaño del sedimento acarreado se asemeja más al subsuperficial y no al material de la superficie, mucho más grueso (Jackson y Beschta, 1982; Parker et al., 1982; Reid et al., 1985). En los últimos años algunos investigadores llevadas a cabo en ríos de grava efímeros han comprobado la falta de una capa superficial más gruesa que el material que se encuentra debajo (Kuhnle, 1992; Laronne et al., 1994). La ausencia de la coraza comporta una mayor disponibilidad de sedimento para transportar, un umbral más bajo para el inicio del movimiento y consecuentemente unas mayores tasas de transporte de fondo (Laronne et al., 1994).

4.4. Variación del tamaño de las partículas aguas abajo del río Huallaga

A través del modelo de regresión lineal se explica la relación directa que existe de los diámetros de fondo de la coraza del río Huallaga observados y la longitud aguas abajo del río Huallaga, la variación o heterogeneidad de los diámetros observados $D_{16\%}$ y $D_{50\%}$ aumentan a medida se incrementa el recorrido de las aguas manteniendo una correlación positiva alta (0,70 a 0,89). Asimismo, $D_{75\%}$ y $D_{84\%}$ presentan igual comportamiento con una correlación positiva muy alta (0,90 a 0,99) (Cuadro 17).

Tabla 19. Estadísticos descriptivos de los diámetros característicos observados y la longitud aguas abajo.

Estadístico	Diámetro característico observado			
	$D_{16\%}$	$D_{50\%}$	$D_{75\%}$	$D_{84\%}$
Intercepto a	3,158	29,320	66,236	81,699
Pendiente b	0,0495	0,1385	0,1754	0,0875
Coef. correlación r	0,741	0,742	0,974	0,983

Fuente: Datos recolectados.

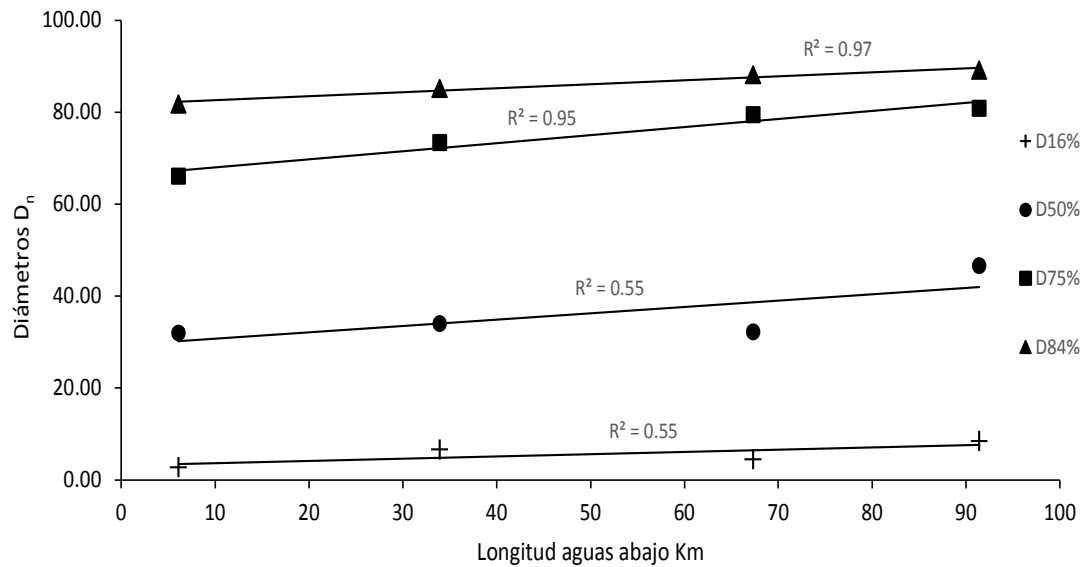


Figura 16. Relación de los diámetros observados y la longitud aguas abajo.

Los diámetros de fondo calculados previo ajuste a una función de distribución de probabilidad Log Normal también evidencian la relación directa con la longitud aguas abajo del río Huallaga, los diámetros de $D_{16\%}$ y $D_{50\%}$ presentan una correlación positiva alta (0,70 a 0,89), mientras $D_{75\%}$ tiene una correlación positiva moderada (0,40 a 0,69) y $D_{84\%}$ con una correlación positiva muy alta (0,90 a 0,99) (Cuadro 18).

Tabla 20. Estadísticos descriptivos de los diámetros característicos calculados y la longitud aguas abajo.

Estadístico	Diámetro característico calculado			
	$D_{16\%}$	$D_{50\%}$	$D_{75\%}$	$D_{84\%}$
Intercepto a	5,506	16,072	32,306	44,737
Pendiente b	0,0768	0,1113	0,1278	0,1283
Coef. correlación r	0,769	0,779	0,671	0,535

Fuente: Datos recolectados.

A través del modelo de regresión lineal se explica la relación directa que existe de los diámetros $D_{16\%}$ y $D_{50\%}$

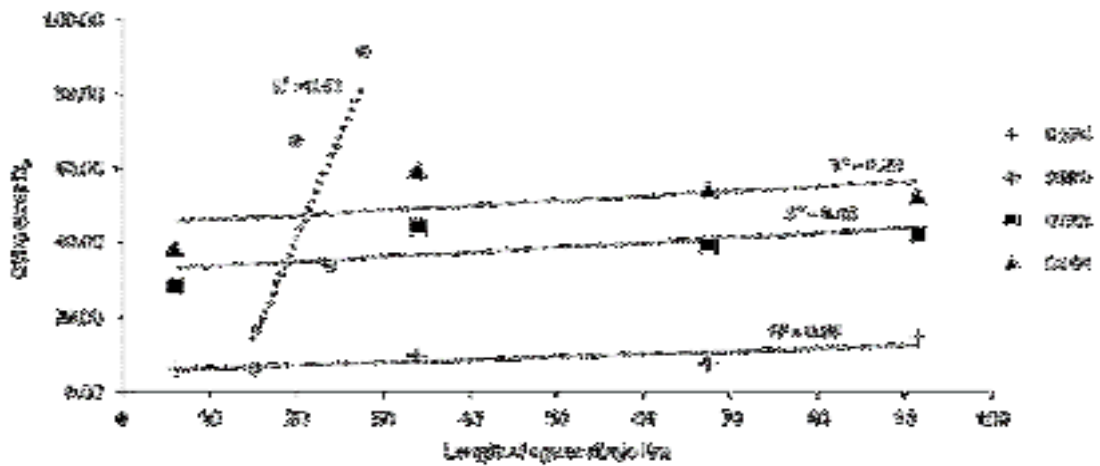


Figura 17. Relación de los diámetros calculado y la longitud aguas abajo.

De acuerdo con Ramírez et al., (2004), Ramírez et al., (2003) y Rãdoane et al., (2007), la variación de los diámetros de los sedimentos de fondo aguas abajo de un río presentan un decrecimiento en la partícula en proporción con el trabajo mecánico necesario para infligir fricción a lo largo del río, expresado en un modelo exponencial o ley de Sternberg, el diámetro mediana $D_{50\%}$ varían cerca de diez kilómetros posteriormente se presenta una rápida agradación, incluso su clasificación está asociada con la organización espacial de las barras y piscinas Mark (1998), así Rãdoane et al., (2007) destaca el efecto de una concavidad pronunciada en los perfiles longitudinales de los ríos fuerza un mayor decrecimiento en el tamaño de los granos de los sedimentos de fondo. Por el contrario, los diámetros $D_{16\%}$, $D_{50\%}$, $D_{75\%}$ y $D_{84\%}$ observados y estimados en el perfil longitudinal del río Huallaga en 126,71 Km explican un crecimiento por kilómetro de recorrido, esto es por la complejidad sistemática del río en el patrón de clasificación, siendo no válido la regla de Sternberg por la perturbación con una alta provisión de sedimentos de los ríos tributarios, áreas de drenaje con una alta tasa de producción de sedimentos presentará un incremento en el tamaño del material de fondo (Rãdoane et al., 2007), como son los tramos de montaña y su agresividad sobre el río Huallaga como principal colector.

Por una parte, Mark (1998) destaca que la morfología y sedimentología de las formas de barras y piscinas se ven reflejadas por el complejo histórico de la deposición y erosión de los sedimentos en su formación, aunque la influencia del control topográfico de flujo y el transporte de sedimentos, la clasificación es retenida. Los rifles en canales rectos están más clasificados en la coraza que aquellos en zonas de piscinas, esto se ha podido observar en los tramos de Chinchavito y Puerto Ángel, mientras las barras en canales meándricos, los finos

comúnmente vienen desde el banco exterior y exterior, tal como se presenta en los tramos de Orquídeas, Luyando, Aucayacu y Ramal de Aspuzana.

La variación del tamaño de los granos a lo largo del río con tendencia positiva, contraria con lo establecido, puede surgir por las particiones más gruesas del fondo que eran menos móviles de las partes más finas, eliminados a efecto del tamaño relativo de las partículas, es decir las condiciones de equilibrio de entrada y salida de transporte no resulta idéntico al que sale, por la movilidad mayor o menor de granos más gruesos (finos).

También Mark (1998) menciona otras implicaciones para la clasificación de los sedimentos y cambios contrarios en su variación, como el tránsito sobre una topografía de fondo no uniforme, resultan ser controladas por los vectores de flujo en el fondo y la sección del canal y la pendiente aguas abajo del fondo, los granos en movimiento sobre un sección transversal en el extremo de las barras, por ejemplo, las partículas gruesas serán desviadas aguas abajo concentrando granos gruesos en un extremo y concentrando en la parte topográficamente más baja.

Las muestras obtenidas en las barras de los tramos de estudio no son ajenas a esta circunstancia, el flujo de fondo orientado en un meandro es orientado hacia el banco interior por un gradiente de presión transversal al cauce.

Son convenientes las implicaciones relacionadas con la distribución del tamaño de los granos, la variación que representan ellos y la idoneidad sujeta para durante su recolección, pese a las orientaciones establecidas por (NRCS, 2007) el muestreo del material de fondo fue cuidadoso para la evaluación de los granos del río, evitando anomalías que desvíen los sedimentos descargados, como sitios no debe ser adyacente a zonas de bancos activos a erosión, como depósitos de materiales erosionados.

En ese sentido se comprende que en los tramos elegidos para el estudio, la clasificación del material del lecho sobre el perfil del río indican que una transferencia selectiva de los sedimentos deben ocurrir durante el proceso de transferencia de la carga del lecho, con una segregación de granos débil en su momento durante los periodos largo cuando todos los ríos ajustan su morfología y sedimentación, tales desviaciones de la movilidad equitativa esperada puede ser suficiente para generar patrones sistemáticos de clasificación de sedimentos.

V. CONCLUSIONES

1. Se identificó los sedimentos de fondo del río Huallaga dispuesto en forma de rifle o caídas, el tramo de Chinchavito y Puerto Ángel con un diámetro medio de 62,75 mm y 60,74 mm, y en forma de barras los tramos Orquídeas, Luyando, Aucayacu y Ramal de Aspuzana con un diámetro medio de 95,71 mm, 41,32 mm, 58,41 mm y 54,82 mm.
 - La distribución de los granos indica una repartición puntiaguda, sesgada hacia la izquierda en los tramos de Chinchavito, Puerto Ángel Orquídeas y Aucayacu, desde cantos pequeños hasta arenas muy finas, mientras Luyando y Ramal de Aspuzana se distribuyen separadamente por dos picos a la izquierda de cantos pequeños y gravas finas, dividido por una pequeña porción de gravas muy finas y, a la derecha de arenas muy gruesas a muy finas.
 - La morfología del cauce como los pesos en común de los sedimentos de fondo entre los tamices evidencian similitud en la distribución de los granos, los tramos de Chinchavito y Puerto Ángel (rifle), Orquídeas y Aucayacu (barras) y Luyando y Ramal de Aspuzana (barras).
2. Las propiedades individuales en los diámetros característicos de 84%, 75%, 50% y 16% corresponden a granos no planos de mucho espesor y más largo que ancho del tramo Chinchavito y Puerto Ángel como Orquídeas y Aucayacu, y a granos no planos de poco espesor y más ancho que largo para el tramo Luyando y Ramal de Aspuzana.
 - Las propiedades conjuntas para los granos de Luyando y Ramal de Aspuzana clasifican como gravas finas con un ángulo de reposo entre 54° a 59° grados, forma redondeada con un peso específico y sumergido entre los 228 -588 g/cm³ y 219 – 578 m³. Orquídeas y Aucayacu de cantos pequeños, gravas muy gruesas, gruesas y medianas cuentan con un ángulo de reposo entre 52° a 65° grados, forma redondeada y un peso específico y sumergido entre los 17 – 116 g/cm³ y 7 - 106 m³. Chinchavito y Puerto Ángel de cantos pequeños, gravas muy gruesas, gruesas, medianas y finas con un ángulo de reposo entre 52° a 65° grados, forma sub redondeada y redondeada.

- Se estableció las curvas granulométricas específicas para los tramos agrupados de Chinchavito – Puerto Ángel, Orquídeas – Aucayacu y Luyando – Ramal de Aspuzana en base a un total de cuatro muestras.
- 3. Los diámetros característicos (observados) se ajustan a una función de distribución logaritmo normal con sus parámetros estimados, $D_m = 15,08$ mm, $\sigma_g = 2,56$, Chinchavito; $D_m = 19,93$ mm, $\sigma_g = 2,74$, Puerto Ángel; $D_m = 27,54$ mm, $\sigma_g = 1,91$, Aucayacu; $D_m = 7,36$ mm, $\sigma_g = 1,9$, Luyando y $D_m = 4,58$ mm, $\sigma_g = 2,23$ Ramal de Aspuzana.
- 4. Los diámetros característicos a lo largo de 90 Km del río Huallaga, incrementan a razón de 0,0495 mm/Km ($D_{16\%}$), 0,1385 mm/Km ($D_{50\%}$), 0,1754 mm/Km ($D_{75\%}$) y 0,0875 mm/Km ($D_{84\%}$).
- 5. El río Huallaga se conforma de sedimentos de fondo de gravas con granulometría extendida sujeta al incremento del tamaño del grano a lo largo del río, son de forma redondeada, no alargados y anchos, con un diámetro medio entre 41,32 mm a 62,75 mm, el ángulo de reposo se encuentra entre los 52° a 65° grados con un peso específico de 116 g/cm³ hasta 588 g/cm³. Predominan los cantos pequeños en la parte alta de forma de rifles (caídas de pendiente alta) y las gravas muy gruesas hasta arenas muy finas en la parte media y baja de forma de barras (pendiente baja).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Extender el muestreo de los sedimentos de fondo ambas márgenes del cauce y formas aguas abajo del río Huallaga como las repeticiones antes y durante de periodos de creciente y vaciantes, para asegurar un número suficiente de muestras que permitan optar y/o discriminar, para con mejor precisión explicar la distribución y las propiedades físicas de los granos.
2. Utilizar equipos electrónicos que permitan con mejor precisión medir las propiedades de aquellos granos gruesos, pequeños y finos cuando se realizan manualmente.
3. Utilizar el número de mallas suficiente para los extremos de granos finos y gruesos en la curva granulométrica, que permitan establecer una correcta distribución a más y menos del 50% que pasan.
4. Investigar a partir de la distribución bimodal, ósea la presencia de dos picos en la distribución de granos su relación con la disposición de los sedimentos de fondo en la parte baja del río Huallaga.
5. Utilizar las principales propiedades físicas de los sedimentos de fondo del río Huallaga como las curvas granulométricas representativas y los diámetros característicos observados y estimados, forma, ángulo de reposo, entre otros, en los estudios de hidráulica fluvial y/o transporte de sedimentos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaella, R. (2014). *Hidráulica Fluvial*. (J. Vilcapoma & R. Perales, Eds.), Primera Ed. Lima, Perú: Fondo Editorial - UNALM. 2014.
- Bagnold, R. A. (1973). *The nature of saltation and of bed-load transport in water*. Proc. Royal Soc. London A332: 473-504.
- Barrios Ginart, J., Marrero Severo, A. A., Baguer Díaz-Romanach, M. L., Arazoza Rodríguez, H. (2010). Estimación de parámetros en modelos epidemiológicos de VIH/SIDA. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones, La Habana, 17(2)*, 143–158.
- Bluck, B. J. (1971). Sedimentation in the meandering R. Endrick. *Scottish Journal of Geology, 7(1)*, 93-138.
- Bluck, B. J. (1982). *Texture of gravel bars in braided streams*. In Hey, R.D., Bathurst, J.C. and Thorne, C.R., editors, *Gravel-bed rivers: fluvial processes, engineering and management*, Chichester: Wiley, 339-55.
- Boothroyd, J.C., Ashley, G.M. (1975). *Process, bar morphology and sedimentary structures on braided outwash fans, northwestern Gulf of Alaska*. In Jopling, V.A. and MacDonald, B., editors, *Glaciofluvial and glaciolacustrine sedimentation*. SEPM Publication 23, Tulsa, OK: SEPM, 193-222.
- Bravo-Espinosa, M., Osterkamp, W. R., Lopes, V. L. (2004). Transporte de sedimentos en corrientes naturales. Revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. *Terra Latinoamericana, 22(3)*, 377-386. [En línea]: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322315.pdf>
- Bridge, J. S. (1993). The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. En J. L. Best y C. S. Bristow (eds.), *Braided Rivers. Geol. Soc. London, Sp. Publ, 75*, 13-7.
- Bridge, J.S., Jarvis, J. (1976). *Flow and sedimentary processes in the meandering river South Esk, Glen Cova, Scotland*. *Earth Surface Processes* 1, 303-36.

- Briggs, L. I., Mcculloch, D. S., Moser, F. (1962). The hydraulic shape of sand particles. *J. Sediment. Petrol*, 32, 645–656.
- Bunte, K. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S.
- Carbonneau, P. E., Bergeron, N. E. (2000). The effect of bedload transport on mean and turbulent flow properties. *Geomorphol*, 35(3-4), 267-278.
- Chang, H. H. (1988). *Fluvial processes in river engineering*. Wiley. New York.
- Charlton. (2007). *Procedimiento de registros de campo para obtener los sedimentogramas del transporte en suspensión, informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, dismember 1984*.
- Chávez López, S., Álvarez Arellano, A. D. (2006). Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 60, 7-21. [En línea]: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112006000200002
- Chen, G. (1995). Generalized log-normal distributions with reliability application. *Computational Statistics and Data Analysis*, 19(3). 309–319.
- Comini De Andrade, B. C., Zegarra Tarqui, J. L. (2020). Determinación experimental de la velocidad de caída de sedimentos no cohesivos. *Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 236-247. [En línea]: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-330520200002000236&script=sci_arttext&tlng=p
- Church, M., Kellerhals, R. (1978). On the statistics of grain size variation along a gravel river. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15(7), 1151-1160.
- Church, M., Mclean, D. G., Wolcott, J. F. (1987). *River bed gra-vels: sampling and analysis*. In C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey (eds.). *Sediment Transport in Gravel Bed Rivers*, John Wiley and Sons, Chichester. 43-88.

- De La Fuente Fernández, S. (2011). *Análisis conglomerados*. Facultad de ciencias económicas y empresariales. UAM (Universidad Autónoma de Madrid). 83 p.
- Dietrich, W. E. (1987). *Mechanics of flow and sediment transport in river bends*. In Richards, K.S., editor, *River channels: environment and process*, Oxford: Blackwell. 179-227.
- Díez Herrero, A. (2001). *Geomorfología e Hidrología fluvial del río Albeche. Modelos SIG para la gestión de riberas*. [Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid]: <http://eprints.ucm.es/tesis/geo/ucm-t25361.pdf>
- Diplas, P., Fripp, J. B. (1992). Properties of various sediment sampling procedures. *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*, 118(7), 955-970.
- Diplas, P., Kuhnle, R., Gray, J., Glysson, D., Edwards, T. (2008). Sediment transport measurements. 305-351. https://water.usgs.gov/osw/techniques/Diplas_Kuhnle_others.pdf
- Ferguson, R. I. (1993). *Understanding braiding processes in gravel-bed rivers: progress and unresolved problems*. In Best, J.L. and Bristow, C.S., editors, *Braided rivers: form, process and economic applications*. Geological Society Special Publication 75, London: Geological Society. 73-87.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2019). Estación: Tingo Maria: Tipo Convencional – Meteorológica. https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/dat_esta_tipo.php?estaciones=000468
- Gallardo, J. s.f. *Introducción al Análisis Clúster*. Universidad de Granada, Granada, España. Disponible en <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-g.pdf>
- García, C. (1978). *Métodos para la caracterización granulométrica en ríos de gravas*. Notes de Geografía Física.
- García Flores, M., Maza Álvarez, J.A. s.f. *Origen y propiedades de los sedimentos*. Capítulo 7 del manual de ingeniería de ríos. facultad de ingeniería UNAM. 111 pág. [En línea]: http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/unam/origen_y_propiedades_de_los_sedimentos.pdf

- Garde, R.J., Ranga Raju, K.G. (1985). *Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems*. John Wiley. New York.
- Gessler, J. (1971). Beginning and ceasing of sediment motion. *Colorado State University*, 7(1), 7-22.
- Gomez, B. (1983). Temporal variations in bedload transport rates: The effect of progressive bed armoring. *Earth Surface Processes Landforms*. 8, 41-54.
- Gomez, B. (1991). Bedload transport. *Earth-Sci. Rev*, 31, 89-132.
- Graf, W. H. (1971). *Hydraulics of sediment transport*. McGraw-Hill. New York.
- Hammond, F. D. C., Heathershaw, A. D., Langhorne, D. N. (1984). A comparison between Shields' threshold criterion and the movement of loosely packed gravel in a tidal channel. *Sedimentology*, 31, 51-62.
- Holdridge, Leslie. (1997). *Estudio socioeconómico de la sub región de Huánuco*.
- Ibisate, J. A., Martín-Vide, J. P., Díaz, E., Baldissone, C. M., Acín, V., Granado, D., Ollero, A. (2012). *Caracterización granulométrica de barras sedimentarias en la zona de confluencia de los tramos bajos de los ríos Arga y Aragón (Navarra)*. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander. Navarra-España. 469-472 p.
- Jackson, W. L., Beschta, R. L. (1982). A model of two-phase bedload transport in an Oregon Coast Range stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 517-527.
- Jiang, E., Cao, Y., Dong, Q. (2015). Long term effects of the Yellow River sediment resources utilization. *Yellow River*, 2(1), 5-12.
- Jiménez, B. E., Garduño, H., Domínguez, R. (1998). Water availability in Mexico considering quantity, quality, and uses. *J. Water Resources Planning Manage*, 124, 1-7.
- Juarez Badillo, E., Rico Rodriguez, A. (1981). *Fundamentos de la mecánica de suelos*. Tomo I, Editorial Limusa Mexico.
- Julien, P. Y. (2010). *Erosion and Sedimentation*. (Cambridge University Press, Ed.), 2nd ed. New York, EEUU: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511806049

- Keller, E. A. (1971). Areal sorting of bedload material: the hypothesis of velocity reversal. *Bulletin of the Geological Society of America*, 82, 753-56.
- Kuhnle, R. A. (1992). Bedload transport during rising and falling stages on two small streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 191-197.
- Laronne, J. B., Reid, I., Yitshack, Y., Frostick, L. E. (1994). The non-layering of gravel streambeds under ephemeral flood regimes. *Journal of Hydrology*, 159, 353-363.
- Lawless, J. F. (1982). *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*, Wiley, New York.
- Leopold, L. B. (1992). *Sediment size that determines channel morphology*. In: Billi, P., R.D. Hey, C.R. Thorne y P. Tacconi (eds.). *Dynamics of gravel-bed rivers*. John Wiley. Chichester, UK. pp. 297-307.
- Lisle, T. E. (1979). A sorting mechanism for a rifflepool sequence. *Bulletin of the Geological Society of America*, 90, 1142-57.
- Marchetti, M. (2000). *Geomorfología Fluviale*. Bologna, Pitagora Ed. 247 p.
- Mark Powell, D. (1998). Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. *Department of Geography, Leicester University*, 22(1), 1-32.
- Martínez, M. M., Fernández, V.J. (1983). *Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas*. Manuscrito. Dirección General de Conservación de Suelo y Agua, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. D.F.
- Maza, J. A., Garcia-Flores, M. (1986). *Distribucion de los tamaños de los sedimentos del fondo en cauces naturales*, memoria del XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, p 104-109.
- Miller, M. C., Mccave, I. N., Komar, P. D. (1977). Threshold of sediment motion under unidirectional currents. *Sedimentology*, 24, 507-27.
- Moya, M. E., Garzón, G., Ortega, J. A. (1998). *Depósitos de la avenida del arroyo Rivillas, Badajoz*. En: Gómez Ortiz, A. y Salvador Franch, F. (Eds.), *Investigaciones Recientes de la Geomorfología Española*. Barcelona. 229-136 p.

- Nadarajah, S. (2005). A generalized normal distribution. *Journal of Applied Statistics*, 37(7), 685–694.
- Naden, P. S. (1988). *Models of sediment transport in natural streams*. In: Anderson, M.G. (ed.). *Modelling geomorphological systems*. John Wiley. Chichester, UK. pp. 217-258.
- NRCS. (2007). *Guidelines for sampling bed material*. technical supplement 13A.
- Osterkamp, W. R., Toy, T. J. (1997). Geomorphic considerations for erosion prediction. *Environ. Geol*, 29(374), 152-157.
- Pearson, K. (1894). Contributions to the Mathematical Theory of Evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society Series A*, 185, 71-110.
- Parker, G., Klingeman, P. C., Mclean, D. G. (1982). Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams. ASCE, *J. Hydraulics Div*, 108, 544-571.
- Pérez Rojas, A., Márquez García, A.Z. (2017). *Sedimentología*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa-México D.F. 57 p. [En línea]: <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/SEDIMENTOL.pdf>
- Pedret, R., Sagnier, L., Camp, F. (2003). *Herramientas para segmentar mercados y posicionar productos*. Barcelona, España, Planeta. 329 p.
- Rădoane, M., Rădoane, N., Dumitriu, D., Miclăuș, C. (2007). Downstream variation in bed sediment size along the East Carpathian rivers. *British Society for Geomorphology*, 33(5), 674-694.
- Ramírez, C., García, J. L., Ramírez, O., Bocanegra, R. (2003). *Caracterización de los materiales del lecho de un río para propósitos de modelación matemática*. EIDENAR, Universidad del Valle Cali, Colombia. 99-106 p.
- Ramírez, C., García, J. L., Ramírez, O., Bocanegra, R. A. (2004). Caracterización de los materiales del lecho del río cauca. *Revista EIDENAR, Universidad del Valle Cali*, 1(1), 10-17.
- Rao, J.N.K., Molina I. (2012). *Aplicación de técnicas de estimación para áreas pequeñas en las ciencias sociales*. 48 p.
- Reid, I., Frostick, L. E. (1994). *Fluvial sediment transport and deposition*. In: Pye, K. (ed.). *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell. Oxford, UK. pp. 89-155.

- Reid, I., Frostick, L. E., Layman, J. T. (1985). The incidence and nature of bedload transport during flood flows in coarsegrained alluvial channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 33-44.
- Rice, S., Church, M. (1996). *Sampling surficial fluvial gravels: the precisión of size distribución percentile estimates*. Departament of geography, University of british Columbia, Vancouver, Canadá. 6-122.
- Riley, N. A. (1941). *Projection sphericity*: Jour. Sedimentary Petrology, 11, 94-97.
- Rittenhouse, G. (1943). A visual method of estimating two dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13, 79–81.
- Rodas, R., Rousé, P. (2010). Análisis comparativo de métodos para la medición del ángulo de reposo de suelos granulares. *Revista de la construcción*, 9(1), 98-106. [En línea]: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2010000100011
- Salinas Tapia, H., García Aragón, J. A. (2011). Fórmula experimental para la velocidad de caída de sedimentos en flujo transversal. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(2), 175-182. [En línea]: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222011000200011&script=sci_arttext
- Shen, H. W., Cheong, H. F. (1978). *Stochastic sediment bedload models*. In: Shen, H.W. y H. Kikkawa (eds.). Application of stochastic processes in sediment transport. Water Resources Publications. Littleton, Colorado. pp. 10, 1 hasta 10, 21.
- Shulits, S. (1941). *Rational equation of river-bed profile*. Transactions American Geophysical Union, 622-631.
- Simons, D. B., Senturk, F. (1976). *Sediment transport technology*, Water resources publication fort Collins, Colorado.
- Simons, D. B., Senturk, F. (1992). *Sediment transport technology: Water and sediment dynamics*. Water resources publications. Littleton, Colorado.

- Smith, N. D. (1974). Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *J. Geol*, 82, 205-223.
- Sneed, E. D., Folk, R. L. (1958). Pebbles in the lower Colorado River. Texas, a study in particle morphogenesis, *Journal of Geology*, 66(2), 114-150.
- Supo, J. (2015). *Bioestadístico análisis de datos aplicado a la investigación científica*. Bioestadístico.com
- Tickell, F. G. (1947). *The examination of fragmental rocks*. 3ª edición. Stanford University Press. 154 pp.
- Villon Bejar, M. (1984). *Hidrología Estadística*. 2º edic. Ed. Villón. Lima, Perú.
- Wadell, H. (1932). Volume shape and roundness of rock particles. *Journal of Geology*, 40, 443–451.
- Ward Jr JH. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301): 236-244.
- Wiberg, P. L., Smith, J. D. (1985). A theoretical model for saltating grains in water. *J. Geophysics Res.*, 90(C4), 7341-7354.
- Yalin, M. S. (1972). *Mechanics of sediment transport*. Pergamon. Oxford, UK.
- Zhao, Y., Bares, J., Socolar, J. E. (2020). *Yielding, rigidity, and tensile stress in sheared columns of hexapod granules*. arXiv preprint arXiv: 09800.

ANEXOS

Tabla 21. Datos del tramo Puerto Ángel.

Tamices		Subsuperficial					Subsuperficial				
		Datos 1ra muestra					Datos 2da muestra				
∅	(mm)	A	B	C	W(Kg)	V (ml)	A	B	C	W(Kg)	V (ml)
3"	76,2	12,2	9,4	4,4	0,83	75	12,3	10	4,5	0,7	70
		9,4	6,54	5,8			9,4	6,6	5,9		
		10,6	11,5	3,3			11	11	3,4		
		14,6	9,7	7			14,6	9,7	7,1		
		14,6	9,73	7,2			14,6	9,73	7,3		
2"	50,8	10	7,05	2,9	0,65	40	10,1	7,1	3	0,6	38
		8,6	6,58	4	0,6	43	8,7	6,6	4		
		9,75	7,8	3,2			9,8	8	3,3		
		8,35	6,38	3,5			8,4	6,4	3,6		
		6,5	5,8	4,3			7	5,9	4,4		
11/2"	38,1	6,1	4,65	2,6	0,2	20	6,2	4,7	2,7	0,28	30
		6,75	4,35	2,5	0,2	20	6,8	4,4	2,4	0,27	33
		6,4	4,8	2,9			6,43	4,9	2,9		
		5	4,15	3,7			5	4,2	3,8		
		7,27	5	2,4			7,3	5	2,4		
1"	25,4	5,25	3,8	2,6	0,07	12	5,3	3,9	2,7	0,07	14
		6,6	3,5	2,7	0,07	12	6,6	3,6	2,6	0,075	14
		4,6	3,7	2			4,6	3,8	2		
		4,63	3,3	2,8			4,63	3,36	2,9		
3/4"	19,05	3,18	3,25	1,5	0,08	11,5	3,2	3,3	1,6	0,009	11,8
		3,85	2,26	1,3	0,05	10,5	3,9	2,3	1,4	0,008	11,8
		3	2,6	1,7			3	2,7	1,8		
		3,45	2,37	1,5			3,5	2,4	1,5		
		3	2,3	1,4			3	2,4	1,5		

		3	1,7	1,2	0,016	11	3	1,62	1,3	0,05	9,5
		3,6	1,8	1	0,015	11,3	3,2	1,7	1,1	0,05	9,5
1/2"	12,7	2,15	2,2	1,2			2,2	2,1	1,1		
		4	1,8	0,9			3	1,7	0,9		
		2,28	1,6	0,7			2,3	1,6	0,7		
3/8"	9,525										
		1,5	0,9	0,6	0,004	2,2	1,6	0,8	0,6	0,007	4
1/4"	6,35	1,5	0,8	0,7	0,003	1,8	1,5	0,9	0,7	0,007	1
		1,5	0,64	0,7			1,5	0,8	0,7		
		1,4	0,85	0,6			1,4	0,9	0,6		
		1	0,8	0,3	0,005	0,15	1	0,8	0,3	0,007	0,17
		1,2	0,6	0,4	0,005	0,15	1,1	0,6	0,4	0,007	0,17
N°4	4,76	0,9	0,5	0,7			0,86	0,5	0,6		
		1,3	0,6	0,3			1,2	0,6	0,3		
		1	0,6	0,6			1	0,6	0,54		

Tabla 22. Datos del tramo Las Orquídeas.

Tamices	Subsuperficial						Subsuperficial				
	Datos 1ra muestra						Datos 2da muestra				
ø	(mm)	A	B	C	W (Kg)	V ml	A	B	C	W(kg)	V (ml)
		12,3	9,7	5,9	0,7	60	12,8	8,6	6,2	0,3	40
3"	76,2	10	7,3	3,3	0,75	62	11,2	9,9	3,4	0,41	48
		11	7,7	1,8			9,7	8,3	5,1		
		10,5	7,4	4,4							
							6,5	5,9	3,9	0,45	32
2"	50,8						9,9	6,4	3,4	0,35	25
							7,9	6,6	2,7		
							10,4	7,5	4,4		
		9,1	5	2,3	0,22	27	7	4,2	2,3	0,15	10,5
		5,8	4,4	3	0,21	26	8,3	4,2	3	0,18	10
1 1/2"	38,1										
		7,4	4,1	3,2			7,2	4,5	2,9		
		5	4,5	3,8			6,3	5,2	2,3		

		4,35	3,7	2,6	0,12	22	8,56	3,9	1,8	0,15	19
		6,9	3,54	3	0,1	22	7,9	3,2	2,4	0,2	18,5
1"	25,4	6,1	3,5	3,1			5,1	4,2	1,7		
		4,6	3,3	1,8			5,5	4,6	1,8		
		5,5	2,6	1,9			4,9	3,6	2,6		
		4,3	2,4	1,7	0,15	15	4,6	2,6	1	0,07	11
		3,7	2,7	1,8	0,14	14	4,1	2,3	1,57	0,06	11,5
3/4"	19,05	4	2,3	2,3			3,9	2,5	1,4		
		3,6	2,7	1,8			4,3	2,5	1,7		
		4,6	2,6	2,5			3,3	2,3	2,2		
		4,7	1,8	1,5	0,07	8,5	4,3	2,1	1,15	0,05	9
		3,9	1,8	1,5	0,06	7,3	3,1	1,9	1,2	0,05	9
1/2"	12,7	2,9	2,1	1,3			3,3	1,8	1,2		
		3,5	1,6	1,3			2,9	2,1	1,4		
							3	1,9	1,4		
		2,3	1,2	1,2	0,04	5,5	2	1,2	0,9	0,05	5,5
		2,6	1,4	0,9	0,05	6,5	2,1	1,4	0,98	0,06	5,4
3/8"	9,525	2	1,3	0,96			2,8	1,3	0,65		
		2	1,35	1			1,6	1,2	1		
		1,9	1,23	0,9			1,5	0,9	0,8		
		1,5	0,7	0,8			2,12	0,9	0,6	0,04	3,5
1/4"	6,35	1,5	0,8	0,75			2,8	1	0,7	0,04	3,5
		1,2	0,9	0,9			2	1	0,6		
		1,36	0,8	0,7			1,6	1	0,6		
		1,2	0,64	0,5	0,002	0,9	1,11	0,5	0,5	0,002	1,2
		1,3	0,55	0,3	0,002	0,9	1,1	0,5	0,4	0,003	1
N°4	4,76	1,2	0,6	0,4			1,3	0,6	0,4		
		0,9	0,6	0,6			1,1	0,7	0,3		
		0,9	0,7	0,6			0,8	0,7	0,35		

Tabla 23. Datos del tramo Aucayacu.

Tamices		Subsuperficial					Subsuperficial				
		Datos 1da muestra					Datos 2da muestra				
\emptyset	(mm)	A	B	C	W (kg)	V (ml)	A	B	C	W (kg)	V (ml)
3"	76,2	13,9	9	5,2	1,08	95	14,9	10	6,2	0,75	45
		8,7	8,5	6,8	1,08	95	9,7	8,5	6,8	0,8	44
		8,2	5,7	5,3			9,2	6,7	5,3		
2"	50,8	9,25	6,18	3,35	0,54	64	9,1	6,2	3,4	0,49	40
		8,08	7,06	3,52	0,51	61	8,1	7,1	3,54	0,48	42
		9,07	6,94	4,86			9,1	6,96	4,9		
11/2"	38,1	6	5,07	1,45	0,32	28	6	5,1	1,5	0,24	33
		6,08	4,89	2,27	0,21	20	6,1	5	2,3	0,23	33
		7,18	4,68	2,7			7,2	4,7	2,7		
		5,78	5,18	3,35			5,8	5,2	3,4		
1"	25,4	6,36	3,58	2,08	0,15	19,5	6,4	3,6	2,1	0,21	18
		6,65	3,83	1,7	0,15	19,5	6,7	3,9	1,7	0,1	15
		6,5	3,57	2,2			6,5	3,6	2,2		
		5,38	4	2,7			5,4	4	2,7		
3/4"	19,05	4,4	2,65	1,25	0,45	14	4,45	2,7	1,3	0,03	10,7
		4,28	2,15	1,74	0,45	14	4,3	2,2	1,8	0,05	10,9
		3,42	2,52	1,78			3,5	2,6	1,8		
		4,26	2,54	1,6			4,3	2,6	1,6		
1/2"	12,7	3,75	2,35	1,08	0,03	7,5	3,8	2,3	1,1	0,04	10
		3	1,05	1,46	0,03	7,3	3	2	1,5	0,05	9
		2,72	2	1,35			2,8	2	1,4		
		2,42	2,2	1			2,4	2,2	1		
3/8"	9,525	2,25	1,5	0,8	0,012	4,5	2,3	1,5	0,8	0,01	7
		2,54	1,16	1	0,013	5,5	2,6	1,2	1	0,02	8
		2,38	1,2	0,9			2,4	1,2	0,9		
		2,25	1,36	0,8			2,3	1,4	0,8		
1/4"	6,35	1,3	0,8	0,7	0,003	2	1,3	0,8	0,7	0,03	3,5
		1,35	1	0,9	0,003	2	1,35	1	0,9	0,02	3
		1,48	1,08	0,6			1,5	1,1	0,6		
		1,45	1	0,5			1,5	1	0,5		
N°4	4,76	0,95	0,6	0,3	0,001	0,7	0,95	0,6	0,3	0,2	1,5
		1,02	0,57	0,4	0,001	0,7	1,03	0,57	0,4	0,15	1
		1	0,6	0,5			1	0,6	0,5		
		0,9	0,6	0,2			0,9	0,6	0,2		

Tabla 24. Datos del tramo Chinchavito.

Tamices		Subsuperficial					Subsuperficial				
		Datos 1ra muestra					Datos 2da muestra				
\emptyset	(mm)	A	B	C	W(Kg)	V (ml)	A	B	C	W(Kg)	V (ml)
3"	76,2	11,32	7,92	3,21	0,57	45	12,18	8,2	6,6	0,75	45
		10,3	6,5	3,3	0,95	85	12,1	8,6	4,1	0,8	44
		10,3	8,3	2,81			15	12	11,9		
2"	50,8	7,95	6,6	2,7	0,4	40	10,4	5,4	3,9	0,49	40
		7,3	5,6	2,8	0,55	31	9,9	6,1	2,8	0,48	42
		7,26	5,8	2,3			8,3	4,9	4,4		
11/2"	38,1	7,4	4,2	4	0,32	13	7,4	5	3,1	0,25	35
		6,9	5,15	3	0,25	12	7,9	5,4	2,4	0,22	35
		6,72	3,98	2,82			8	4,6	2,9		
1"	25,4	8,4	3,3	2,9	0,2	12	6,1	3,8	2,2	0,21	17
		5,9	4,9	2,7	0,23	10	5,9	2,9	1,9	0,1	15
		3,65	3,62	1,4			6,3	3,6	2,6		
3/4"	19,05	3,9	3,4	1,6			4,8	3,6	2		
		5,2	2,7	2,5			5,6	2,8	2		
		4,38	2,7	1,4	0,04	9,4	4,3	2,4	1,4	0,03	10,5
1/2"	12,7	3,73	2,8	1	0,045	8,5	4,4	2,2	1,3	0,05	10,8
		3,9	2,5	1,2			3,9	2,9	1,6		
		3,82	2,23	1,18			4,9	2,5	2,03		
3/8"	9,525	3,7	2,5	2			3,6	2,9	1,7		
		3,3	2,2	1,21	0,033	5,5	3,6	1,5	1,1	0,04	10
		2,8	2,1	1,25	0,045	4,5	2,9	2,2	1,3	0,05	9
1/4"	6,35	2,75	2,2	1,3			2,6	1,8	1		
		2,6	1,8	1			2,4	1,9	1,1		
		2,4	1,9	1,1			2,3	2,4	1		
3/8"	9,525	2,5	1,3	0,8	0,45	4,5	2,5	1,3	0,8	0,01	7
		2,4	1,2	0,7	0,42	3,5	2,4	1,2	0,7	0,02	8
		2,2	1,3	1,05			2,2	1,3	1,05		
1/4"	6,35	2,8	1,4	0,6			2,8	1,4	0,6		
		2,3	1,1	0,7			2,3	1,1	0,7		
		2,6	1	0,8	0,02	1	2,6	1	0,8	0,03	1,5
1/4"	6,35	1,8	0,84	0,5	0,015	1,5	1,8	0,84	0,5	0,02	1,5
		2,3	0,6	0,6			2,3	0,6	0,6		
		1,8	0,7	0,6			1,8	0,7	0,6		
		1,7	1	0,74			1,7	1	0,74		

		1	0,6	0,4	0,033	0,55	1	0,6	0,4	0,2	1
		1,1	0,6	0,5	0,006	0,6	1,1	0,6	0,5	0,15	1
N°4	4,76	0,9	0,5	0,3			0,9	0,5	0,3		
		1	0,7	0,3			1	0,7	0,3		
		1	0,5	0,3			1	0,5	0,3		

Tabla 25. Datos del tramo Ramal de Aspuzana.

Tamices	Subsuperficial						Subsuperficial			
	Datos 1ra muestra						Datos 2da muestra			
	∅ (mm)	A	B	C	W(Kg)	V(ml)	A	B	C	W(Kg)
3"	76,2									
2"	50,8	7,9	5,4	5	0,58	48				
1 1/2"	38,1	6,7	5,85	5,4	0,36	20	5,4	3,9	3	0,38
		5,6	3,87	4,16	0,36	20				
		5,7	4,6	2,86						
		4,96	5,14	3,3						
1"	25,4	4,6	2,8	1,77	0,2	15	5,2	2,4	2,3	0,19
		4,1	3,6	3	0,21	15	4,4	3,2	1,9	0,19
		5,5	3,6	3,4			5,8	3,7	1,8	
		5,3	3	2,27			5	3,3	0,7	
3/4"	19,05	4,2	2,4	1,8	0,6	12,5	5,1	2,8	1,8	0,08
		3,7	2,2	1,4	0,6	12,5	4,4	2,5	1,57	0,06
		3,96	3,1	1,9			3,7	2,2	1,6	
		5	2,8	1,5			3,3	2,15	1,8	
1/2"	12,7	3,6	2,3	1,1	0,025	8,5	2,6	1,9	1,4	0,05
		3	2	1,3	0,025	8,5	2,5	1,75	1,5	0,05
		2,6	1,7	1,3			2,36	1,8	1	
		2	1,95	1,3			2,6	1,5	0,8	
3/8"	9,525	3,2	1,5	1	0,06	4,5	2	1,3	0,9	0,06
		2,5	1,4	1	0,07	5	2,4	1,1	1,2	0,06
		2,6	1,7	1,3			2,1	1,2	0,9	
		2,33	1,2	0,6			1,8	1,2	1	
1/4"	6,35	2,7	1,2	1,1	0,003	2	1,8	1	0,5	0,04
		1,6	0,9	0,7	0,003	2	1,5	1	0,9	0,04
		1,9	1,1	0,9			1,5	1	0,5	
		1,5	1,5	0,7			1,6	1	0,4	

		1	0,5	0,54	0,12	2	1,1	0,5	0,2	0,11
N°4	4,76	1,02	0,53	0,33	0,12	2	1,3	0,6	0,5	0,11
		0,9	0,7	0,4			1,3	0,5	0,4	
		0,9	0,7	0,5			1,1	0,6	0,3	

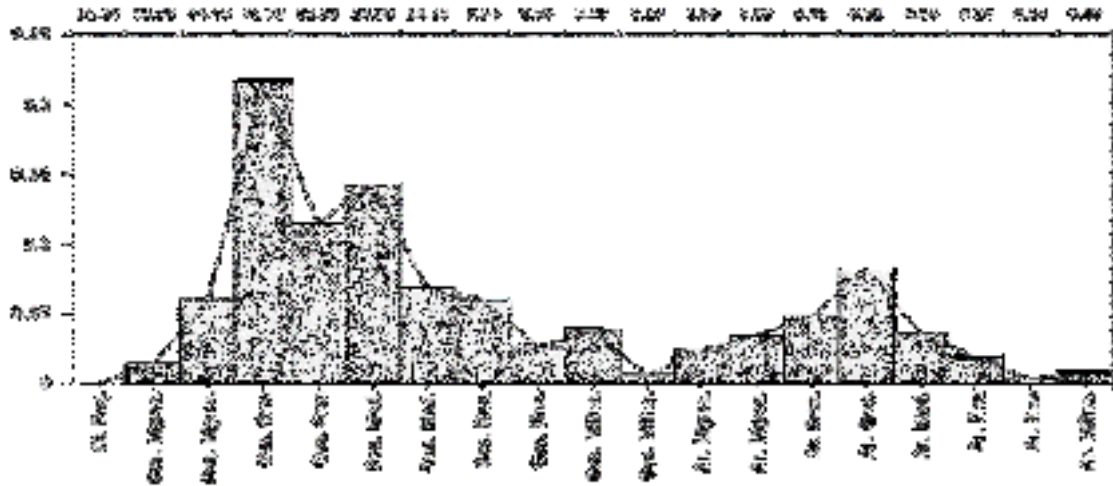


Figura 18. Histograma del tramo Ramal de Aspuzana.

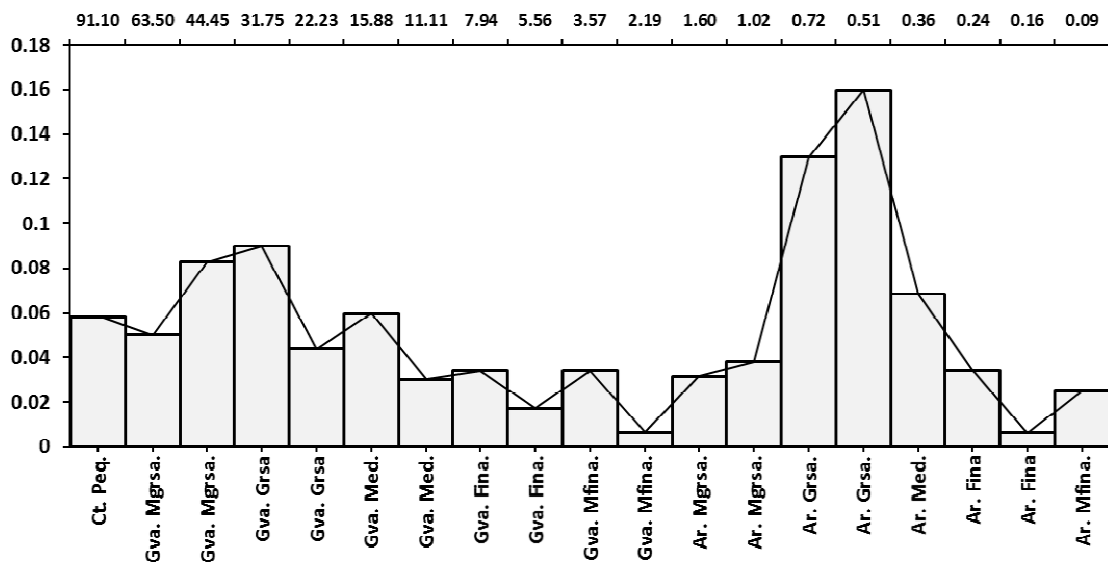


Figura 19. Histograma del tramo Luyando.

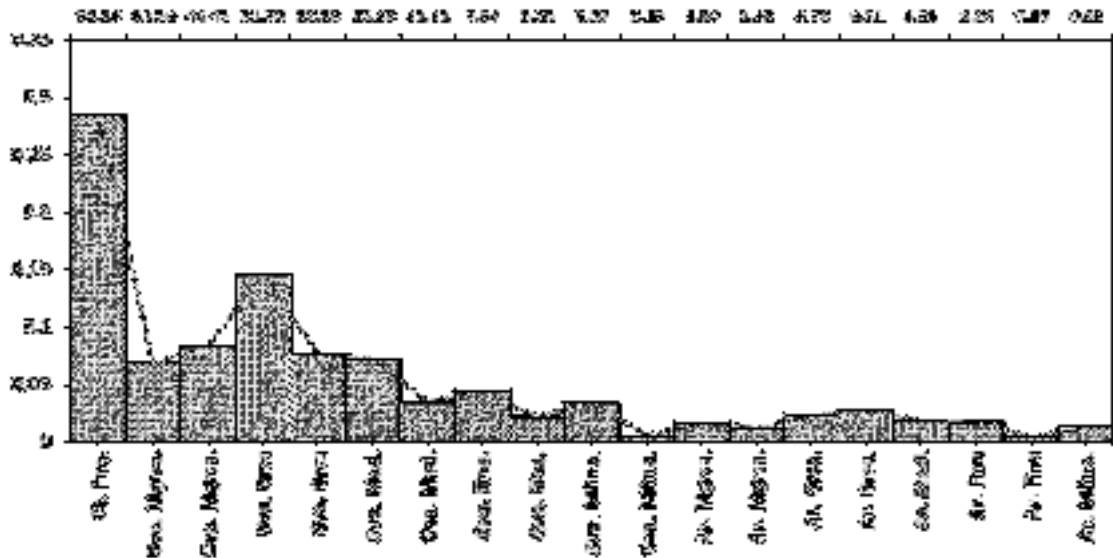


Tabla 27. Análisis de granulometría Luyando.

Tamices		Peso retenido(gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
>3	106	0	0	0	100
3"	76,2	3958	17,676	17,676	82,324
2"	50,8	3095	13,822	31,498	68,502
1 1/2"	38,1	2865	12,795	44,293	55,707
1"	25,4	2652	11,844	56,136	43,864
3/4"	19,05	892	3,984	60,12	39,88
1/2"	12,7	1198	5,35	65,47	34,53
3/8"	9,525	511	2,282	67,752	32,248
1/4"	6,35	592	2,644	70,396	29,604
Nº4	4,76	294	1,313	71,709	28,291
Nº8	2,38	585	2,613	74,321	25,679
Nº10	2	112	0,5	74,821	25,179
Nº16	1,19	564	2,519	77,34	22,66
Nº20	0,84	624	2,787	80,127	19,873
Nº30	0,59	1553	6,936	87,062	12,938
Nº40	0,426	1030	4,6	91,662	8,338
Nº50	0,297	858	3,832	95,494	4,506
Nº80	0,18	483	2,157	97,651	2,349
Nº100	0,149	104	0,464	98,115	1,885
Fondo	0,037	422	1,885	100	0
Total		22392	100		

Tabla 28. Análisis de granulometría Aucayacu.

Tamices		Peso retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
>3	106	0	0	0	100
3"	76,2	6298	30,481	30,481	69,519
2"	50,8	3380	16,359	46,84	53,16
1 1/2"	38,1	2166	10,483	57,323	42,677
1"	25,4	2670	12,922	70,245	29,755
3/4"	19,05	1153	5,58	75,825	24,175
1/2"	12,7	1125	5,445	81,27	18,73
3/8"	9,525	445	2,154	83,424	16,576
1/4"	6,35	428	2,071	85,495	14,505
Nº4	4,76	213	1,031	86,526	13,474
Nº8	2,38	418	2,023	88,549	11,451
Nº10	2	86	0,416	88,965	11,035
Nº16	1,19	379	1,834	90,8	9,2
Nº20	0,84	307	1,486	92,285	7,715
Nº30	0,59	345	1,67	93,955	6,045
Nº40	0,426	307	1,486	95,441	4,559
Nº50	0,297	289	1,399	96,84	3,16
Nº80	0,18	338	1,636	98,475	1,525
Nº100	0,149	68	0,329	98,805	1,195
Fondo	0,037	247	1,195	100	0
Total		20662	100		

Tabla 29. Análisis de granulometría Orquídeas.

Tamices		Peso retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
>3	106	0	0	0	100
3"	76,2	4697	24,118	24,118	75,882
2"	50,8	1857	9,535	33,653	66,347
1 1/2"	38,1	2250	11,553	45,207	54,793
1"	25,4	3364	17,273	62,48	37,52
3/4"	19,05	1542	7,918	70,398	29,602
1/2"	12,7	1264	6,49	76,888	23,112
3/8"	9,525	736	3,779	80,668	19,332
1/4"	6,35	740	3,8	84,467	15,533
N°4	4,76	369	1,895	86,362	13,638
N°8	2,38	540	2,773	89,135	10,865
N°10	2	63	0,323	89,458	10,542
N°16	1,19	153	0,786	90,244	9,756
N°20	0,84	84	0,431	90,675	9,325
N°30	0,59	155	0,796	91,471	8,529
N°40	0,426	360	1,849	93,32	6,68
N°50	0,297	411	2,11	95,43	4,57
N°80	0,18	134	0,688	96,118	3,882
N°100	0,149	432	2,218	98,336	1,664
Fondo	0,037	324	1,664	100	0
Total		19475	100		

Tabla 30. Análisis de granulometría Chinchavito.

Tamices		Peso retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
>3	106	0	0	0	100
3"	76,2	2239,5	20,326	20,326	79,674
2"	50,8	1466,5	13,31	33,636	66,364
1 1/2"	38,1	1300,5	11,803	45,439	54,561
1"	25,4	1159	10,519	55,958	44,042
3/4"	19,05	718	6,517	62,475	37,525
1/2"	12,7	807	7,324	69,799	30,201
3/8"	9,525	391,5	3,553	73,353	26,647
1/4"	6,35	463	4,202	77,555	22,445
N°4	4,76	296,5	2,691	80,246	19,754
N°8	2,38	534	4,847	85,093	14,907
N°10	2	102	0,926	86,018	13,982
N°16	1,19	386	3,503	89,522	10,478
N°20	0,84	302,5	2,746	92,267	7,733
N°30	0,59	248,5	2,255	94,523	5,477
N°40	0,426	249,5	2,264	96,787	3,213
N°50	0,297	99,5	0,903	97,69	2,31
N°80	0,18	133	1,207	98,897	1,103
N°100	0,149	33,5	0,304	99,201	0,799
Fondo	0,037	88	0,799	100	0
Total		11018	100		

Tabla 31. Análisis de granulometría Puerto Ángel.

Tamices		Peso retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
∅	(mm)				
>3	106	0	0	0	100
3"	76,2	6781	28,63	28,63	71,37
2"	50,8	1625	6,861	35,491	64,509
1 1/2"	38,1	1993	8,415	43,905	56,095
1"	25,4	3491	14,739	58,645	41,355
3/4"	19,05	1841	7,773	66,418	33,582
1/2"	12,7	1712	7,228	73,646	26,354
3/8"	9,525	824	3,479	77,125	22,875
1/4"	6,35	1053	4,446	81,571	18,429
Nº4	4,76	510	2,153	83,724	16,276
Nº8	2,38	827	3,492	87,216	12,784
Nº10	2	124	0,524	87,739	12,261
Nº16	1,19	380	1,604	89,343	10,657
Nº20	0,84	285	1,203	90,547	9,453
Nº30	0,59	549	2,318	92,865	7,135
Nº40	0,426	656	2,77	95,634	4,366
Nº50	0,297	432	1,824	97,458	2,542
Nº80	0,18	406	1,714	99,172	0,828
Nº100	0,149	84	0,355	99,527	0,473
Fondo	0,037	112	0,473	100	0
Total		23685	100		

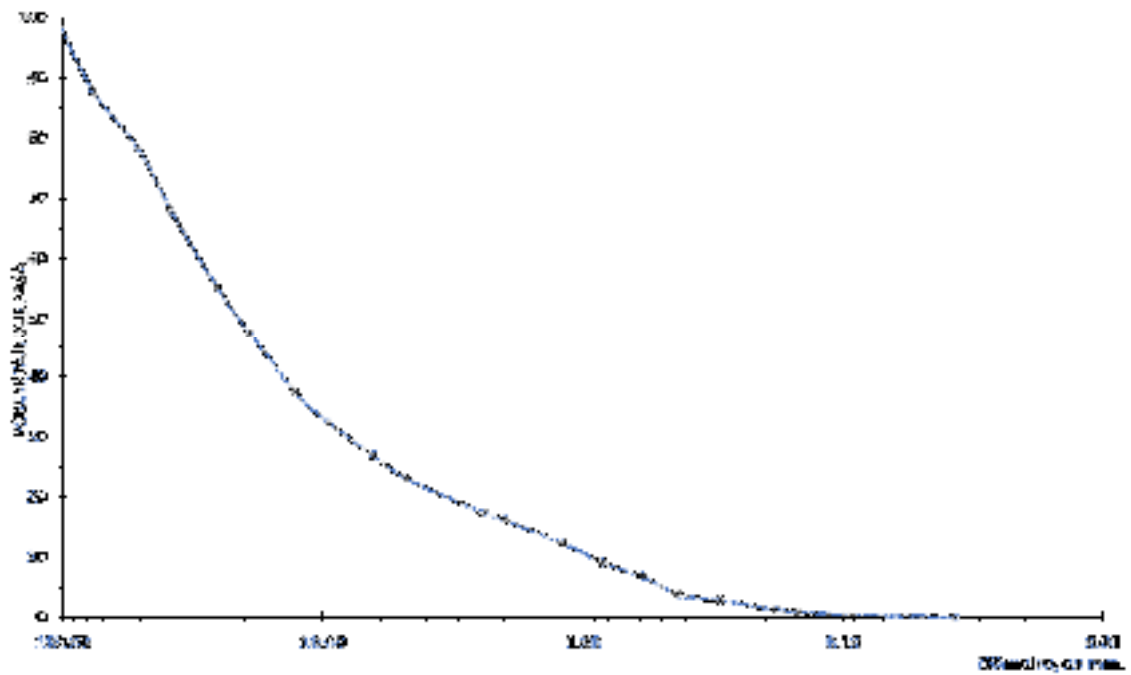


Figura 24. Curva granulométrica del tramo Chinchavito muestra 1 del Subsuperficial.

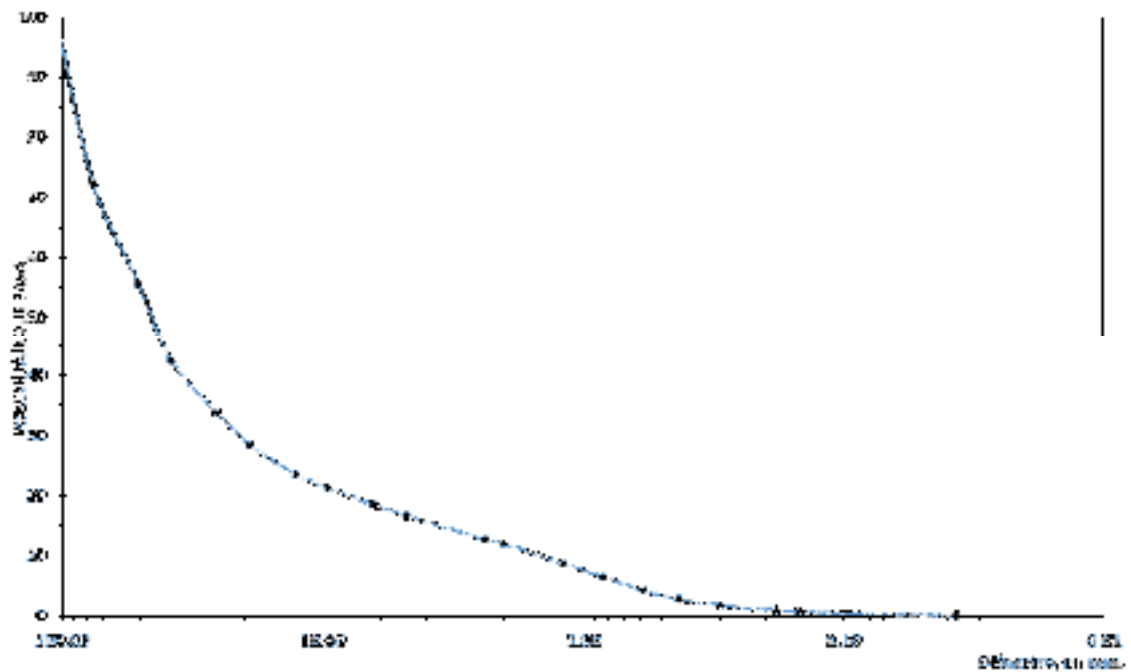


Figura 25. Curva granulométrica del tramo Chinchavito muestra 2 del Subsuperficial.

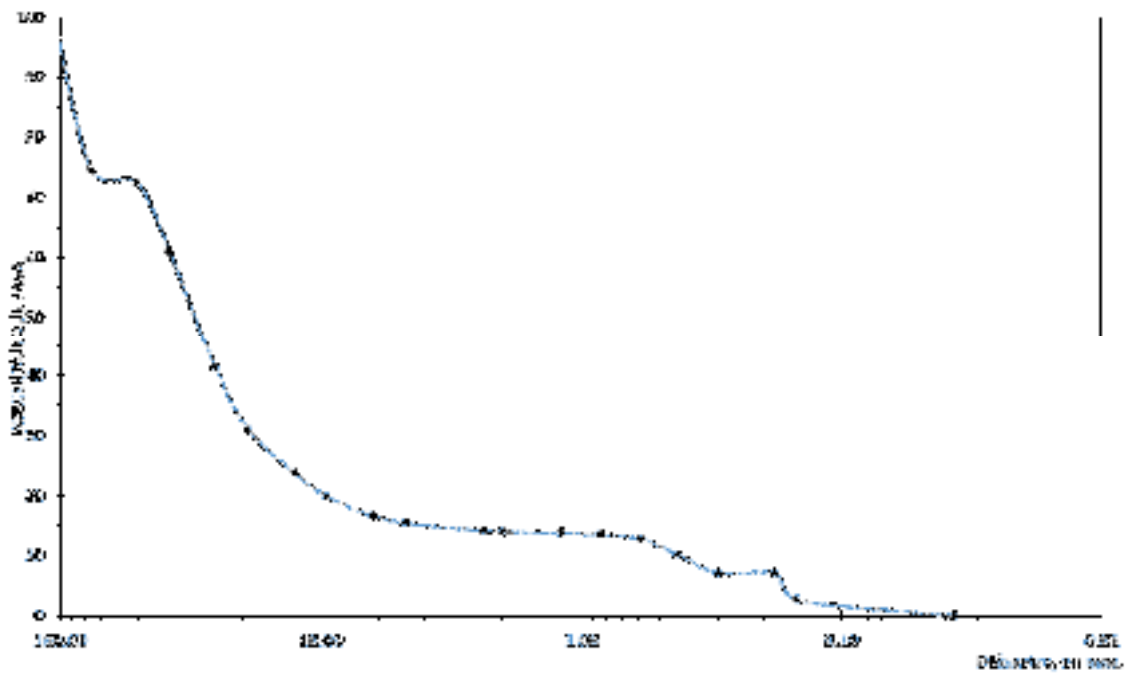


Figura 26. Curva granulométrica del tramo Orquídeas muestra 1 del Subsuperficial.

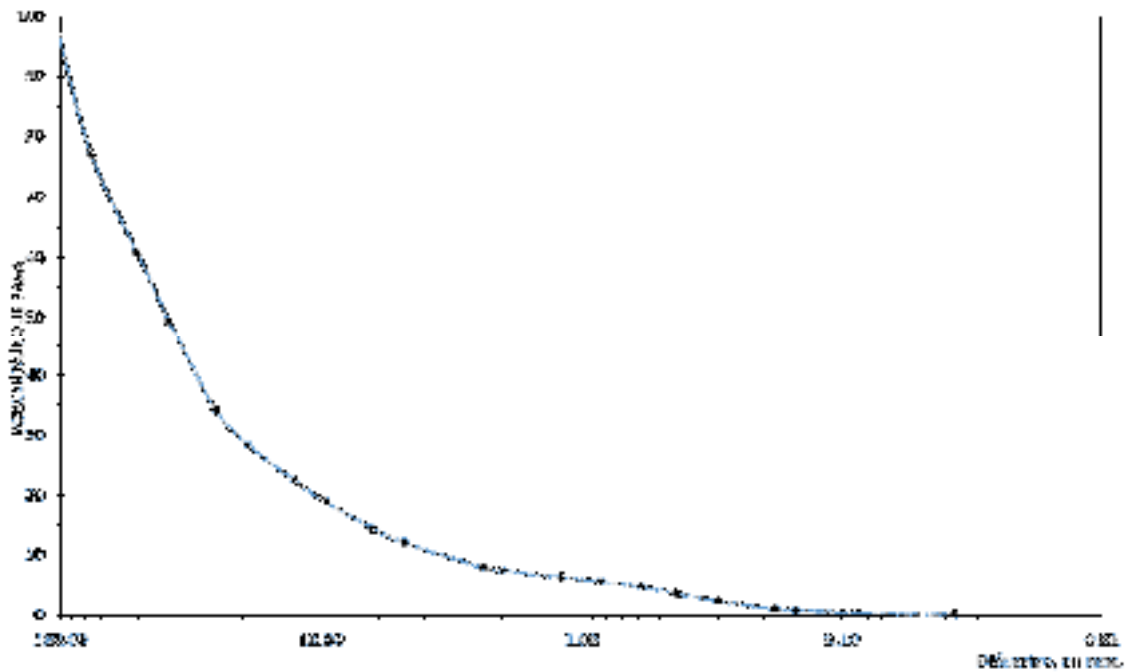


Figura 27. Curva granulométrica del tramo Orquídeas muestra 2 del Subsuperficial.

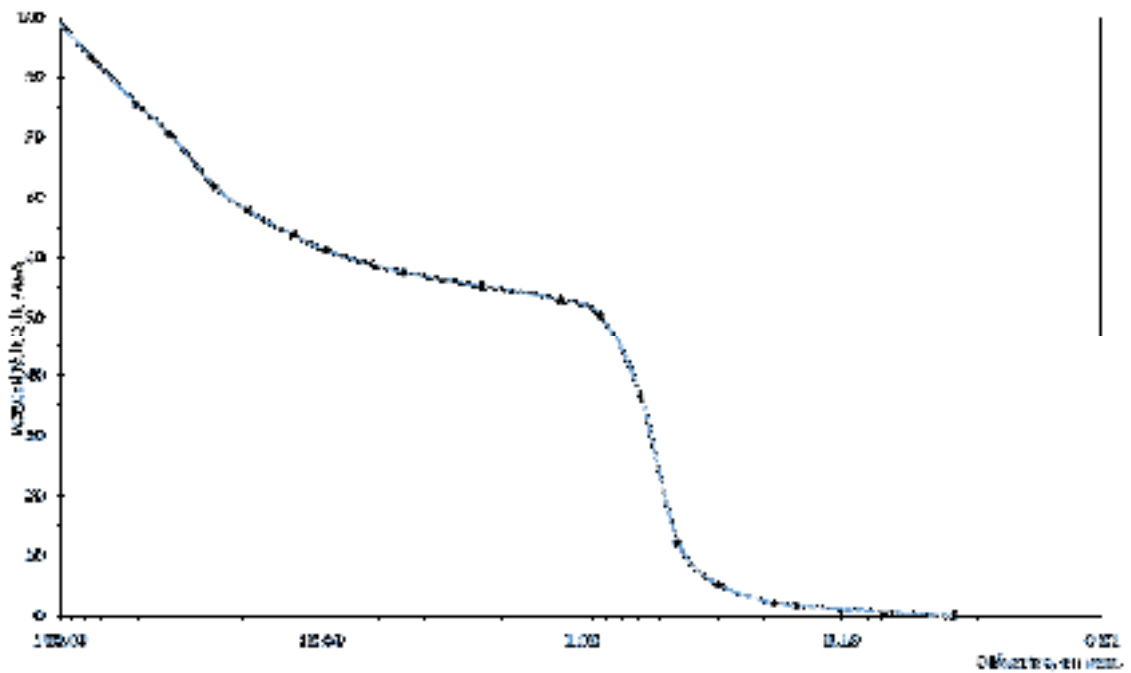


Figura 28. Curva granulométrica del tramo Luyando muestra 1 del Subsuperficial.

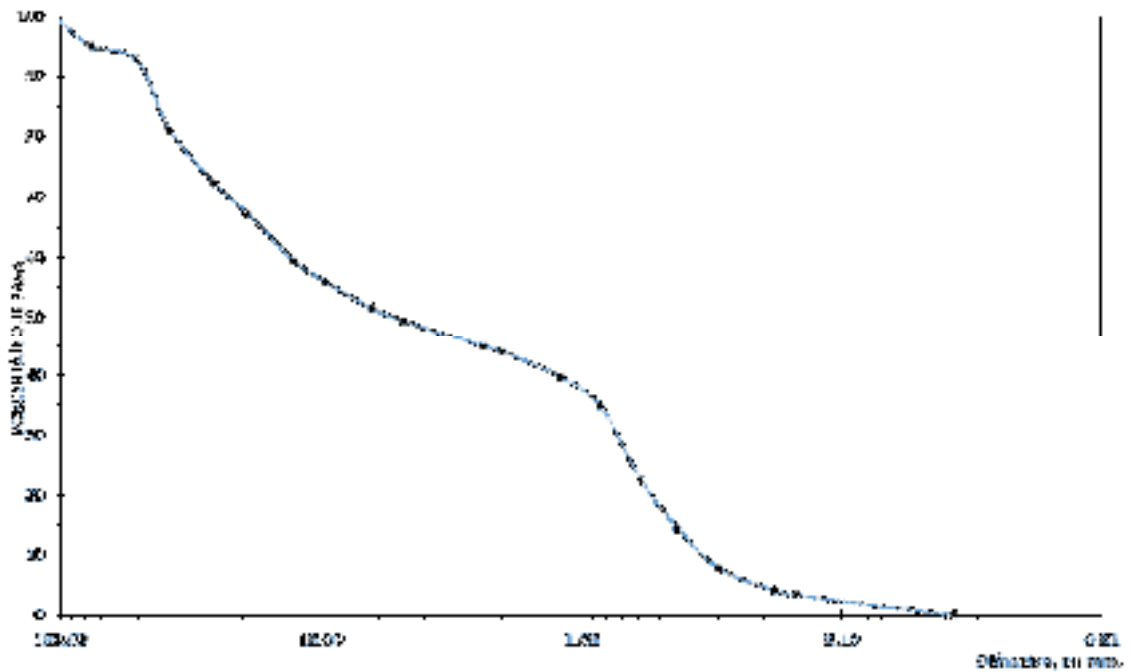


Figura 29. Curva granulométrica del tramo Luyando muestra 2 del Subsuperficial.

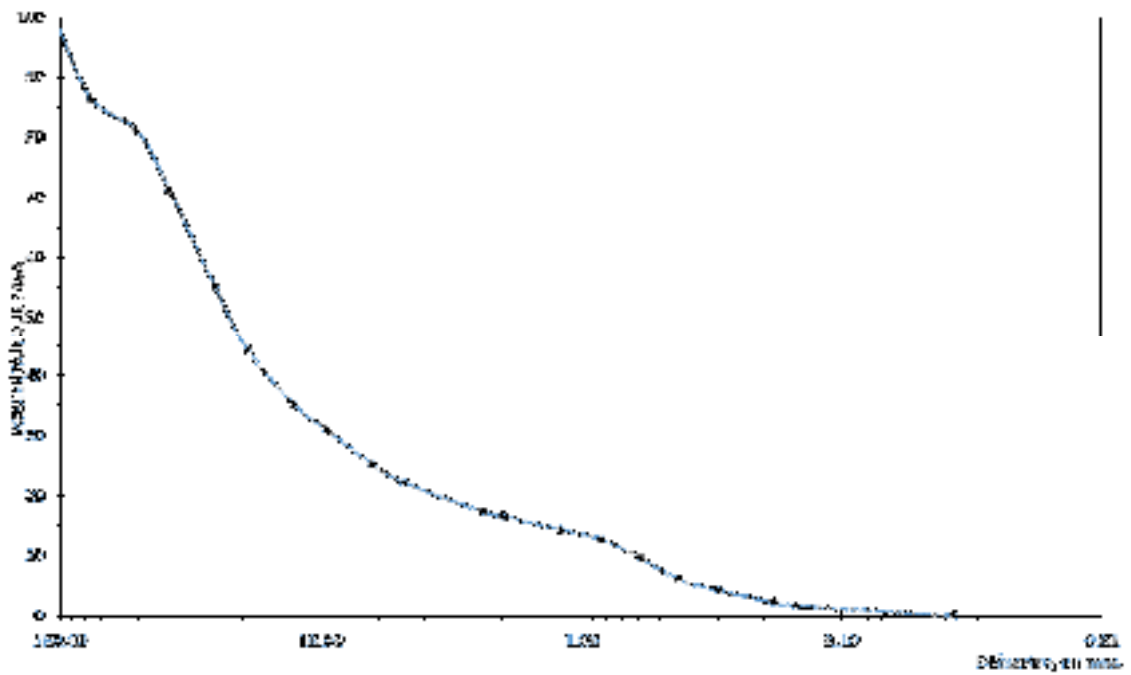


Figura 30. Curva granulométrica del tramo Puerto Ángel muestra 1 del Subsuperficial.

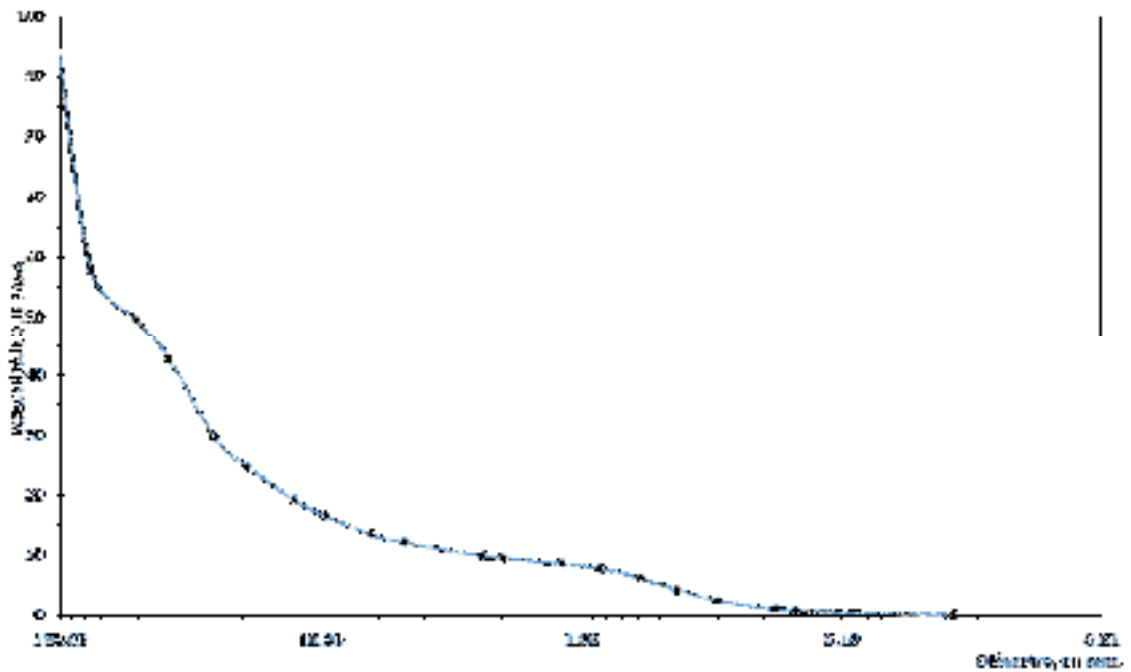


Figura 31. Curva granulométrica del tramo Puerto Ángel muestra 2 del Subsuperficial.

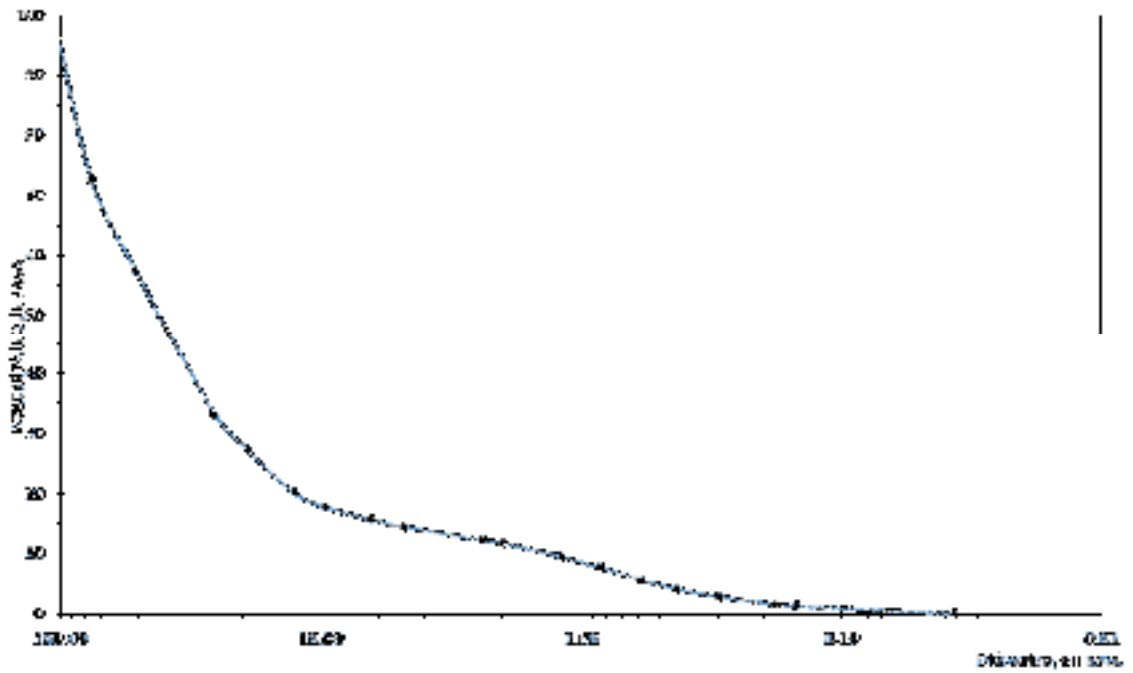


Figura 32. Curva granulométrica del tramo Aucayacu muestra 1 del Subsuperficial.

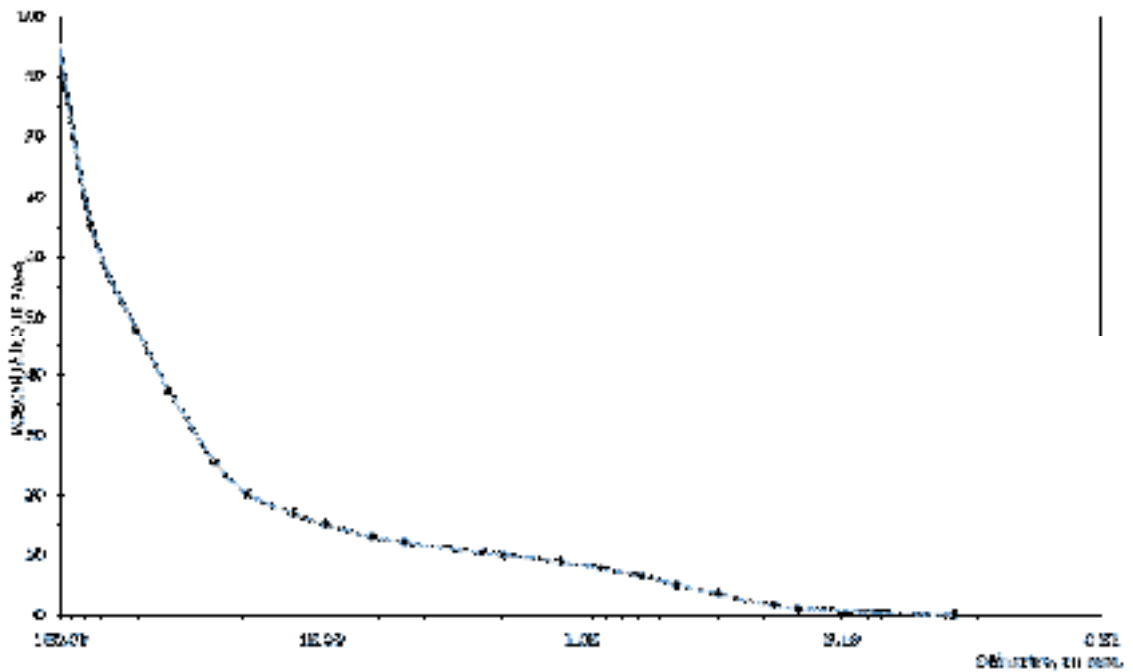


Figura 33. Curva granulométrica del tramo Aucayacu muestra 2 del Subsuperficial.

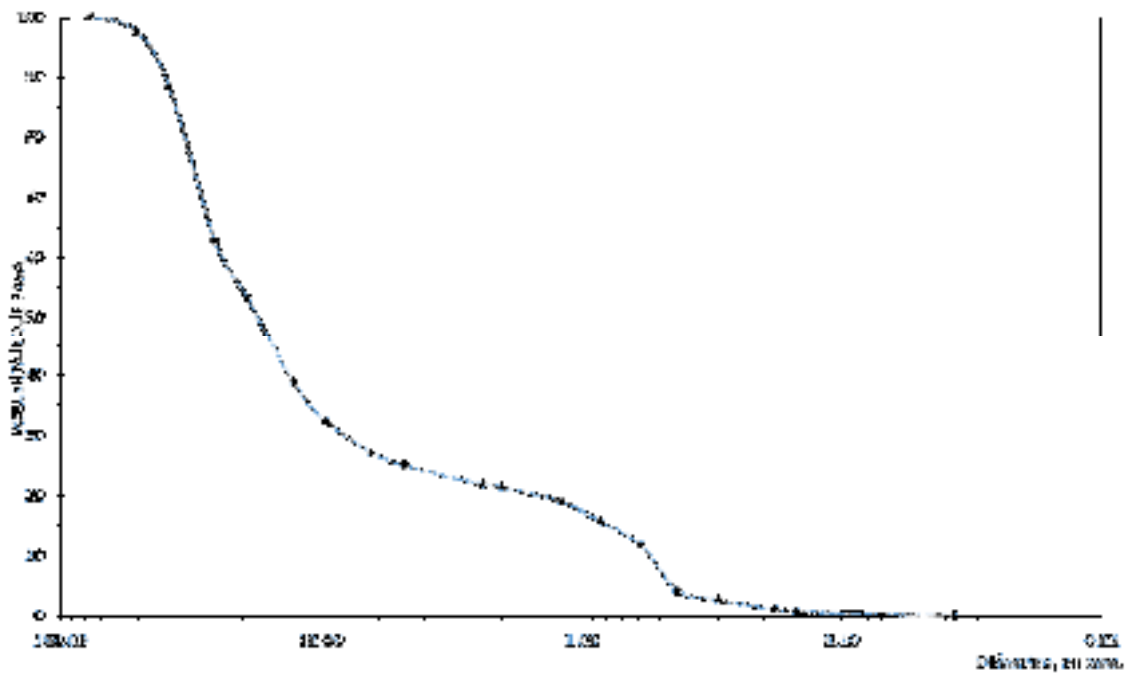


Figura 34. Curva granulométrica del tramo Ramal de Aspuzana muestra 1 del Subsuperficial.

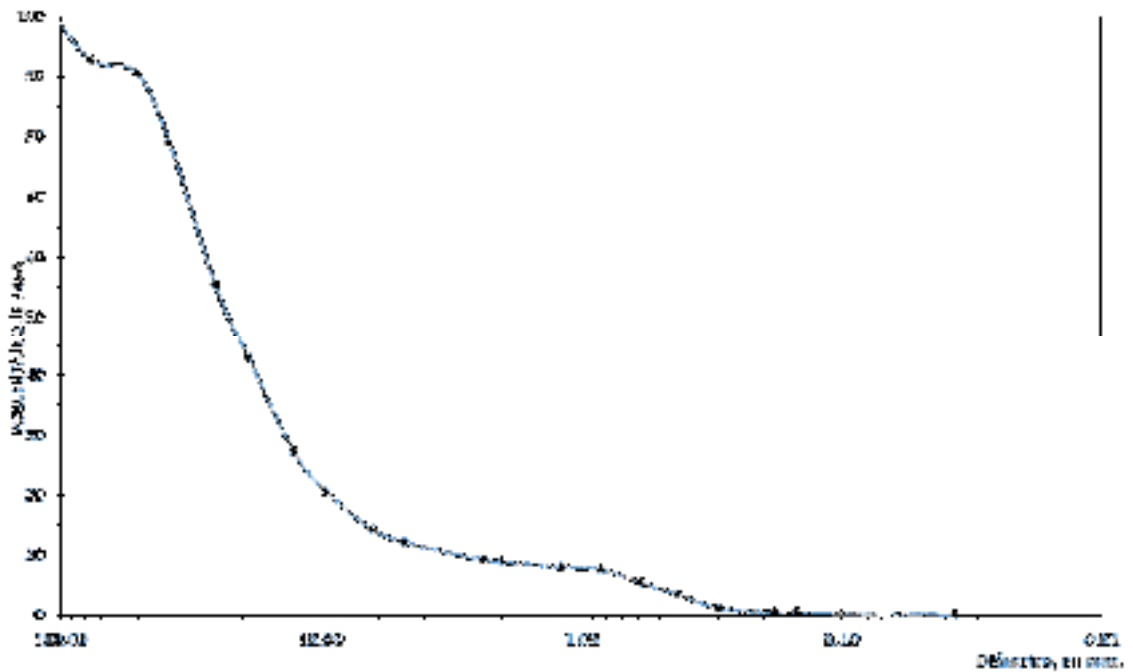


Figura 35. Curva granulométrica del tramo Ramal de Aspuzana muestra 2 del Subsuperficial.

Anexo A. Panel fotográfico

Figura 36. Identificación del tramo chinchavito en forma de rifle.



Figura 37. Identificación del depósito de orquídea de las formas de barra.



Figura 38. Identificación de las muestras del tramo de Chinchavito.



Figura 39. Identificación de las muestras del tramo de Orquideas.



Figura 40. Identificación de las muestras del tramo de Luyando.



Figura 41. Selección de Partículas por el tamiz en el tramo Aucayacu.