

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS

**“GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN
RÍO PORCÓN - CAJAMARCA 2020”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR:

JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI

ASESOR:

Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMAN VIDAURRE

CAJAMARCA – PERÚ

2022

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS TODOPODEROSO, porque cada peldaño que he escalado por más pequeño que haya sido Él ha estado conmigo mostrándome que jamás estoy sola.

Agradezco a mi amada madre porque siempre ha creído en mí, y porque sin su apoyo no habría llegado hasta esta instancia de mi vida.

A mi amado esposo por apoyarme a no desistir, y enseñarme que todo se puede lograr mientras estemos unidos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Dr. Ing. Francisco Huamán V. por su apoyo y confianza en el desarrollo de la presente investigación, además de su capacidad para guiar mis ideas lo cual ha sido un aporte invaluable.

Agradezco a cada uno de mis seres queridos que de una u otra forma me han mostrado su apoyo.

DEDICATORIA

A mi madre Sebastiana Chunqui, quien siempre me enseñó que el rendirse no es una opción, porque siempre está ahí para compartir y soñar junto a mí, dedico este trabajo a ella en recompensa a su amor y paciencia.

A mi esposo Elmer Izquierdo, por apoyarme desde que llego a mi vida y mostrarme el significado de felicidad.

A mis amados hijos Isaac e Ismael, porque ellos son mi incentivación constante.

A mi querida hermana Ana Belén, por ser parte de mis alegrías.

CONTENIDO

TÉRMINOS BÁSICOS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2 ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4 LIMITACIONES	3
1.5 OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPITULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.2 BASES TEÓRICAS	6
2.2.1 SUB CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO PORCÓN	6
2.2.2 MORFOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA DE LAS CORRIENTES NATURALES	14
2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS	17
2.2.4 CAUDAL DOMINANTE O FORMATIVO DEL CAUCE	25
2.2.5 ASPECTOS DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL	26
2.2.6 CAUDAL DE AFORO	32
CAPITULO III	35
MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ZONA DE ESTUDIO	35
3.1.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA RÍO PORCÓN	37
3.2 MATERIALES	41
3.2.1 MATERIALES DE CAMPO	41
3.2.2 MATERIALES DE GABINETE	41
3.3 METODOLOGÍA	41
3.3.1 VISITAS DE CAMPO	44
3.3.2 MORFOLOGÍA DEL RÍO	44

3.3.3	CAUDALES DEL RÍO Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS	53
3.3.4	GASTO SÓLIDO DE FONDO DEL RÍO PORCÓN.....	55
3.3.5	VOLUMEN DE SEDIMENTO	58
CAPITULO IV		61
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		61
4.1	CARTOGRAFÍA.....	62
4.2	MORFOLOGÍA	62
4.3	PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	62
4.4	GASTO SÓLIDO DE FONDO DEL RÍO PORCÓN.....	63
4.5	VOLUMEN DE SEDIMENTOS.....	64
CAPITULO V		66
5.1	CONCLUSIONES.....	66
5.2	RECOMENDACIONES.....	66
CAPITULO VI		67
BIBLIOGRAFIA		67
CAPITULO VII.....		69
ANEXOS		69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Geológico de infraestructuras de Captación.	7
Figura 2: Mapa Geomorfológico de infraestructuras de captación.	8
Figura 3: Mapa Condiciones del suelo de captaciones.	9
Figura 4: Componentes en una Cuenca.	10
Figura 5: Zonas de montaña, pie de monte y llanura en un río.	14
Figura 6: Sección transversal típica de un río en su tramo de montaña.	15
Figura 7: Sección transversal típica de un río en su tramo de pie de monte.	16
Figura 8: Sección transversal típica de un río en su tramo de pie de llanura.	16
Figura 9: Curva granulométrica	19
Figura 10: Carta de plasticidad.....	21
Figura 11: Formas de transporte de sedimentos.....	26
Figura 12: Trampa de arrastre de fondo.	28
Figura 13: Hélice de medición.	33
Figura 14: Pantalla Correntómetro FP111 GW.....	33
Figura 15: Medición de velocidades en la sección de un río.	34
Figura 16: Ubicación cuenca del río Porcón.	36
Figura 20: Cuadro resumen procedimiento de trabajo en el río Porcón.....	43
Figura 21: Vista en planta de la sección del río Porcón.	45
Figura 22: Perfil longitudinal del río Porcón.	46
Figura 23: Material superficial de calicatas aguas arriba y abajo de captación Río Porcón. ...	49
Figura 24:Reconocimiento del terreno	69
Figura 25:Reconocimiento de piedras dentro del río.	69
Figura 26:Punto de aforo en tramo recto.....	70
Figura 27:Levantamiento topográfico del río Porcón	70
Figura 28:Captación Río Porcón.....	71
Figura 29:Excavación de la trampa de sedimentos	71
Figura 30:Levantamiento topográfico de la trampa de sedimentos	71

Figura 31:Geología encontrada en la trampa de sedimentos de la captación río Porcón.....	72
Figura 32:Traslado de material a laboratorio de suelos.	72
Figura 33:Ficha de recepción de muestras de suelo.....	73
Figura 34:Granulometría en laboratorio: secado y granulometría.	73
Figura 35:Cantos y rodados.....	74
Figura 36:Densidad aparente in situ.....	74
Figura 37:Resultados contenidos de humedad.	88
Figura 38:Peso específico ASTM - 127	89
Figura 38:Granulometria realizada en laboratorio.	90
Figura 40:Plano en planta de levantamiento inicial de trampa de sedimentos aguas arriba de la captación Río Porcón.	98
Figura 41:Plano en planta de levantamiento final de trampa de sedimentos aguas arriba de la captación Río Porcón.	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 curva granulométrica del lecho de material del río Porcón.	50
Gráfico 2: peso retenido de material muestreado.	51
Gráfico 3 peso retenido de material muestreado.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rango de pendientes de la Región de Cajamarca.	10
Tabla 2: Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo.	18
Tabla 3: sistema unificado de clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava.	20
Tabla 4: Serie de tamices ASTM	22
Tabla 5: Clasificación cantos rodados y gujarros	22
Tabla 6: Densidad de los suelos según su clasificación.	23
Tabla 7: Coordenadas geográficas del punto de aforo	35
Tabla 8: Resumen de los Cálculos Geomorfológicos de la cuenca Río Porcón.	37
Tabla 10: Ancho del río Porcón medido en cada progresiva	47
Tabla 11: Resultados de cálculo de la pendiente del río Porcón.	47
Tabla 12: Puntos de muestreo en el río Porcón.	48
Tabla 13: Diámetros característicos de la curva granulométrica.	50
Tabla 14: Porcentaje de materiales del lecho del río Porcón.	51
Tabla 15: Densidad relativa o peso específico de la muestra promedio.	52
Tabla 16: Densidad aparente de los sedimentos.	52
Tabla 17: Porosidad del material del río Porcón.	52
Tabla 18: Densidad relativa de la partícula dentro del río Porcón.	52
Tabla 19: Coeficiente de rugosidad para el río Porcón.	52
Tabla 20: Rugosidad del cauce para río Porcón.	53
Tabla 21: Caudales de aforo río Porcón aguas arriba de la captación.	53
Tabla 22: Caudal dominante o formativo del Río Porcón.	54
Tabla 23: Parámetros hidráulicos para cada caudal mayor al caudal dominante, en la estación de aforo.	54
Tabla 24: Datos de sección obtenidos para el caudal dominante.	55
Tabla 25: Resultados del gasto sólido de fondo en kg/s del río Porcón, para los aforos realizados en los meses febrero, marzo y abril de 2020 mayores o iguales al caudal dominante.	57

Tabla 26: Resultados del gasto sólido de fondo en (m^3/s) del río Porcón, para los aforos realizados en los meses febrero, marzo y abril de 2020 mayores o iguales al caudal dominante.....	57
Tabla 27: Volumen de trampa de sedimentos.	59
Tabla 28: Gasto sólido de fondo medido en campo del río Porcón.	59
Tabla 29: Volúmenes en m^3 para los caudales que producen arrastre de sedimentos.	60
Tabla 31: Tiempo en horas de llenado de trampa de sedimentos del río Porcón.	64
Tabla 32: Aforos durante meses lluviosos.	75
Tabla 33: Datos topográficos para el cálculo de la pendiente.	86
Tabla 34: Datos de cantos, rodados y guijarros.	87
Tabla 35: Granulometría calicata 1-cantos rodados y guijarros, incluyendo material llevado a laboratorio (30 metros aguas arriba de la captación río Porcón).....	93
Tabla 36: Granulometría calicata 3-cantos rodados y guijarros, incluyendo material llevado a laboratorio (50 metros aguas abajo de la captación río Porcón)	93
Tabla 37: Parámetros adimensionales, calculados para el río Porcón y ser aplicados en las fórmulas de gasto sólido de fondo.....	94
Tabla 38: Diseño de Desarenador para obtener dimensiones aproximadas de la trampa de sedimentos realizada en la captación Río Porcón.	94

TÉRMINOS BÁSICOS

En la presente investigación se emplearon los siguientes términos básicos:

- **Cuenca hidrográfica:** Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un río o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.
- **Época de lluvia:** En el Perú se inicia en el mes de setiembre y culmina en abril del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo diciembre-marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones, presentan sus mayores intensidades.
- **Autoridad Nacional del Agua (ANA):** Es el ente rector y máxima autoridad técnico normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Organismo especializado cuyo fin es conservar, proteger y aprovechar los recursos hídricos.
- **INGETEC:** Empresa colombiana de ingenieros consultores, que realizaron auditoría ambiental y evaluaciones ambientales de las operaciones de minera Yanacocha en Cajamarca 2015.
- **Obra hidráulica:** constituyen un conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.
- **Sedimentos fluviales:** materiales detríticos transportados por el agua y depositados debido a una pérdida de competencia del flujo (disminución de velocidad). Es el término general de los detritos que forman los depósitos dejados por un río, los cuales incluyen material fino (limo, arcilla) y material grueso (arena, grava, cantos rodados, etc.)
- **Caudal líquido:** Volumen de agua que atraviesa la sección transversal de un curso de agua por unidad de tiempo.
- **Gasto sólido:** Masa de las materias sólidas que atraviesan una sección dada de un curso de agua por unidad de tiempo.
- **Gasto sólido de fondo:** materiales de fondo, que se desplazan de diversas formas debido a un caudal dominante, en función a una sección y tiempo.
- **Trampa de sedimentos:** Son una técnica de muestreo utilizada con mucho éxito, mediante la cual se obtienen estimados precisos del transporte de sedimentos en un rango amplio de condiciones ambientales.

- **Fórmula semiempíricas:** son fórmulas que involucran suposiciones, aproximaciones o generalizaciones diseñadas para simplificar el cálculo o para producir un resultado de acuerdo con la observación.
- **Geología:** Conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre de una zona o de un territorio.
- **Geomorfología:** Es el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado en describirlas, entender su génesis y su actual comportamiento.
- **Condiciones de suelo:** conjunto de circunstancias que determinan el estado del suelo, Los más importantes son el tipo de roca que los originó, su antigüedad, el relieve, el clima, la vegetación y los animales que viven en él, además de las modificaciones causadas por la actividad humana.
- **Diámetros característicos:** Se denominan así a las métricas más comúnmente utilizadas al describir las distribuciones de tamaño de partícula.
- **Norma ASTM D422:** Método que estableció la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, para la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de suelos.
- **Senamhi:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú es un organismo técnico especializado del Estado Peruano que brinda información sobre el pronóstico del tiempo, así como asesoría y estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agrometeorología y asuntos ambientales.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar el gasto sólido de fondo del río Porcón-2020, aguas arriba de la captación derivadora “Río Porcón”, mediante fórmulas empíricas y compararlo con mediciones de volumen retenido en el lecho del río utilizando una trampa; para ello, se han realizado levantamientos topográficos del cauce y de la trampa de sedimentos, aforos en los meses de febrero y marzo de 2020, siendo el mayor caudal de $2.42 \text{ m}^3/\text{s}$. Para conocer el gasto sólido de fondo, se considera caudales mayores o iguales al caudal dominante del río Porcón, ya que este caudal es el responsable principal de la forma y dimensiones del río y su periodo de retorno es más continuo que una máxima avenida, además nos garantiza un arrastre de las partículas de arena y grava, este caudal es $1.38 \text{ m}^3/\text{s}$. Para estimar el gasto sólido de fondo con fórmulas empíricas se obtuvieron parámetros con datos de campo tales como peso específico de los sólidos que es de $2622.99 \text{ kg}/\text{m}^3$, la densidad aparente de $2156.25 \text{ kg}/\text{m}^3$, la porosidad de 0.18, parámetros hidráulicos relacionados a la sección del río y tamaños característicos del material granular del río. Las fórmulas utilizadas fueron las de Meyer - Peter y Müller, Einstein y Einstein – Brown, Pernecker y Vollmers, con resultados desde 0.011 hasta $0.076 \text{ m}^3/\text{s}$, las de Parker, Klingeman y Mc Lean y Mizuyama y Shimohigashi, con resultados desde 0.000015 hasta $0.017 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto sólido de fondo que se obtuvo a través de la trampa de sedimentos cuyo volumen retenido fue de 39.16 m^3 en un tiempo acumulado de 15 horas, dio un gasto sólido de fondo de $0.00073 \text{ m}^3/\text{s}$, según este resultado el gasto sólido de fondo obtenido con las fórmulas de Parker y Shimohigashi son las que más se aproximan a dicho valor. Para el mismo volumen retenido en la trampa y el gasto sólido de fondo obtenido con las cinco fórmulas mencionadas, el tiempo que tardaría en alcanzar dicho volumen, es muy variable; con la fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean dio un mínimo de 0.52 horas y como máximo 9.35 horas, mientras que las de Mizuyama y Shimohigashi de 38.57 hasta 57.82 horas.

Palabras claves: Gasto sólido de fondo, trampa de sedimentos, tiempo de acumulación.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to estimate the solid bottom flow of the Porcón River-2020, upstream of the “Río Porcón” diverting catchment, by means of empirical formulas and to compare it with measurements of the volume retained in the river bed using a trap; To do this, topographical surveys of the channel and the sediment trap have been carried out, gauging in the months of February and March 2020, with the highest flow rate being 2.42 m³/s. To know the solid bottom flow, flows greater than or equal to the dominant flow of the Porcón River are considered, since this flow is the main responsible for the shape and dimensions of the river and its return period is more continuous than a maximum avenue, it also guarantees us a drag of the sand and gravel particles, this flow rate is 1.38 m³/s. To estimate the bottom solid flow with empirical formulas, parameters were obtained with field data such as the specific weight of the solids, which is 2622.99 kg/m³, the apparent density of 2156.25 kg/m³, the porosity of 0.18, hydraulic parameters related to the section of the river and characteristic sizes of the granular material of the river. The formulas used were those of Meyer - Peter and Müller, Einstein and Einstein - Brown, Pernecker and Vollmers, with results from 0.011 to 0.076 m³/s, those of Parker, Klingeman and Mc Lean and Mizuyama and Shimohigashi, with results from 0.000015 to 0.017 m³/s. The bottom solid flow that was obtained through the sediment trap whose retained volume was 39.16 m³ in an accumulated time of 15 hours, gave a bottom solid flow of 0.00073 m³/s, according to this result the solid fund expense obtained with the Parker and Shimohigashi formulas are the closest to said value. For the same volume retained in the trap and the solid background expense obtained with the five formulas mentioned, the time it would take to reach said volume is highly variable; with the formula of Parker, Klingeman and Mc Lean it gave a minimum of 0.52 hours and a maximum of 9.35 hours, while those of Mizuyama and Shimohigashi from 38.57 to 57.82 hours.

Keywords: Bottom solid flow, sediment trap, accumulation time.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.

El Río Porcón es uno de los componentes hidrográficos con mayor importancia en la ciudad de Cajamarca y su actual área de expansión, el ANA le autoriza captar un caudal de 100 l/s durante época de lluvia para el abastecimiento de agua potable a la empresa Sedacaj. Tiene tramos sedimentables, pues se observa acumulación de sedimentos desde la cota 2800 m.s.n.m hacia aguas abajo, por lo cual en diferentes tramos de su recorrido se extraen agregados. (INGETEC,2015)

El tramo en estudio está ubicado a los 2854 m.s.n.m en el sector Huambocancha alta, kilómetro 6 de la carretera a Bambamarca, en dicho tramo la E.P.S Sedacaj tiene una captación de agua construida hace aproximadamente 50 años. (INGETEC,2015)

La captación del Río Porcón es una obra hidráulica que posee contacto directo con el caudal líquido y también con las partículas de suelo arrastradas desde ríos y quebradas afluentes del Río Porcón, este último acarreo recibe el nombre de gasto sólido (gasto sólido en suspensión y gasto sólido de fondo). Además, en los cauces de alta montaña no hay espacios para acopio de sedimentos, y la producción de sedimentos es muy elevada. (RUDAS,2021)

En el gasto sólido de fondo las partículas ruedan o saltan por distancias comparables al diámetro de las mismas, por lo tanto, el gasto sólido está constituido por el sedimento que se mueve por arrastre, rodadura o saltación en un estrato cerca del lecho del río. (MARTINEZ,2001) Además, las formas de fondo determinan la rugosidad del lecho, de manera que las formas de fondo y el transporte de sedimentos tienen una influencia mutua. (OCHOA R, 2011)

Históricamente las fuertes precipitaciones fluviales que ocurren entre los meses de noviembre a abril de cada año han causado la colmatación de la captación Río Porcón, pues dichas precipitaciones traen consigo gran acarreo de sedimento o un fuerte gasto sólido. (RUDAS,2021)

Analizando dicha problemática se planteó realizar una investigación para estimar el gasto sólido de fondo que transporta el Río Porcón, aguas arriba de dicha captación, para caudales aforados durante los meses lluviosos de enero, febrero y marzo de 2020. Para conocer el valor del gasto sólido de fondo se aplicó una serie de fórmulas empíricas, las cuales posteriormente fueron validadas y comparadas con los resultados in situ.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Porcón es una de las fuentes naturales que abastece de agua potable a Cajamarca, se cuenta con información histórica de aforos de caudales mínimos y máximos en la captación río Porcón, pero no se tiene información de cantidad de sedimentos de fondo que arrastra, Además la captación esta colmatada lo cual afecta el volumen captado.

La captación del río Porcón no recibe un mantenimiento periódico para quitar los sedimentos, tampoco tiene ningún tipo de trampa que retenga los sedimentos antes de llegar a la captación y mitigar la colmatación, y sobretodo no se conoce el comportamiento como tal de un gasto sólido de fondo. Es necesario por tanto estimar el gasto sólido que tiene el río Porcón.

El arrastre de sedimentos de fondo va modificando la morfología del río, para poder estudiar las soluciones en cuanto a protección de estructuras hidráulicas dentro del río Porcón, es necesario realizar la siguiente interrogante:

¿Cuál es el gasto sólido de fondo aguas arriba de la captación Río Porcón- Cajamarca 2020?

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La captación Río Porcón es parte de la infraestructura hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro”, con ello resaltamos su importancia para la ciudad de Cajamarca.

Es necesario contar con información de caudales líquidos, pero también gastos sólidos de fondo que son los que más influencia poseen en la geomorfología del río Porcón.

Para conocer el valor del caudal sólido del río, se realizó una trampa de sedimentos dentro del río y aguas arriba de la captación con el fin de conocer el volumen de sedimentos que generó el río en los meses de enero, febrero y marzo del 2020, cuyos resultados servirán para ser validados con los resultados que arrojen las fórmulas empíricas y a la empresa Sedacaj en cuanto a la toma de decisiones para el mantenimiento de la Captación.

1.3 ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se realizará en el Río Porcón, en un tramo total de 323 m aguas arriba y aguas abajo de la captación del mismo nombre, para ser exactos 271.38 m aguas arriba y 51.62 m aguas abajo. Solamente se estimará el gasto sólido de fondo que transporta el Río mediante una trampa de sedimentos y fórmulas semiempíricas, para caudales aforados durante los meses lluviosos y que se aproximen al caudal dominante, con ello se garantiza el transporte de sedimentos. Y se tendrán en cuenta temas de hidrología, ingeniería fluvial, topografía y mecánica de suelos.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El gasto sólido de fondo del río Porcón es el generado por caudales iguales o mayores que el caudal dominante y se estima mediante fórmulas empíricas cuyos resultados son susceptibles de comparar con mediciones in situ.

1.5 LIMITACIONES

Falta de equipo muestreador de sólidos de fondo transportados en el lecho del río, la masa o el volumen de partículas de sedimento que se mueven en contacto o cerca del lecho, en un ancho determinado y en un especificado período de tiempo, con el fin de corroborar datos y realizar una comparación más cercana a la realidad. Asimismo, la dificultad de conocer el tiempo preciso que duró una avenida y la captura de sedimentos para diferentes caudales.

1.6 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estimar el gasto sólido de fondo aguas arriba de la captación Río Porcón, en los meses lluviosos Cajamarca - 2020.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Medir y generar información sedimentológica, hidrométrica y cartográfica, referente al Río Porcón en el tramo de estudio.
- ✓ Aforar el Río Porcón, durante los meses febrero, marzo de 2020.
- ✓ Caracterizar el tramo de estudio del río Porcón.
- ✓ Caracterizar los sedimentos de fondo del lecho del río Porcón aguas arriba y aguas debajo de la captación Río Porcón.
- ✓ Estimar el volumen de sedimentos utilizando una trampa en el lecho del río Porcón, aguas arriba de la captación del mismo nombre.
- ✓ Estimar el gasto sólido de fondo y el volumen mediante cinco fórmulas semiempíricas y comparar los resultados, con el volumen de sedimentos medidos en la trampa.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ Existen estudios de transporte de sedimentos de fondo de ríos de alta montaña, uno de ellos es “Estudio de las teorías de arrastre de fondo sobre el Río Negro, en un tramo de 100 m aguas arriba del Puente Tobia La Montaña, mediante un modelo físico”, ubicado en Colombia, utilizaron las fórmulas de Duboys, Schoklitsch, Shields, Einstein – Brown, Kalinske, Levi, Sato Kikkawa y Ashida, Rottner, Garde y Albertson, Frijlink, Yalin, Pernecker y Vollmers, Inglis y Lacey, Bogardi, Garg, Agrawal y Shigh y Meyer – Peter y Müller, para evaluar cual es la fórmula más adecuada en el arrastre de fondo del río Negro. Hallándose para un caudal de 11.42 m³ /s la curva con mayor similitud a la curva del modelo, la de Einstein – Brow con un caudal sólido de 3.151 kg/m y Meyer – Peter y Müller con un caudal sólido de 2.998 kg/m Para un caudal de 34.15 m³ /s, la curva con mayor similitud a la curva del modelo, fue la de Inglis y Lacey con un caudal sólido de 9.342 kg/m y para un caudal de 44.35 m³ /s la curva con mayor similitud a la curva del modelo, fue la de Inglis y Lacey con un caudal sólido de 10.989 kg/m. Además, concluyeron que medida que aumenta la pendiente, el caudal sólido aumenta, al igual que en el modelo, lo que indica que el caudal sólido es directamente proporcional para todas las ecuaciones exceptuando Inglis y Lacey, que permanece constante, al estudiar esta ecuación, se encuentra que no tiene en cuenta el efecto de la pendiente. (PEÑALOSA O, 2010)
- ✓ La tesis titulada “Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla”. (QUINCHO, J. 2015), se utilizó un perfilador de Corriente acústico Doppler (ADCP) para la caracterización del transporte del lecho fluvial de fondo y un muestreador Helley Smith para el muestreo de sedimento de fondo. En la estación hidrométrica El Tigre, se obtuvo un gasto sólido de fondo de 0.032 millones de toneladas anuales. Para la cuenca Zarumilla en la estación La Coja, se obtuvo un gasto sólido de fondo de 0.025 millones de toneladas anuales. La fórmula empírica de Yalin es la que mejor ajuste tiene respecto a los datos observados de gasto sólido de fondo.
- ✓ Otro estudio importante es “Transporte de sedimentos de fondo y volumen generado aguas arriba de la Captación del Chicche – Cajamarca 2016”. El estudio tuvo como objetivo estimar el transporte de sedimentos de fondo del río Chonta, aguas arriba de la captación El Chicche, con fórmulas empíricas tales como Schoklitsch, Bagnold, Parker, Klingeman y Mc Lean, Mizuyama y Shimohigashi, Bathurst, Graf y Cao; utilizando caudales medidos entre enero y abril del año 2016. Los caudales medidos en el año 2016 variaron de 1,29 m³/s a 9,84

m³/s; el gasto sólido de fondo con dichos caudales varió de 6,75 kg/s con la fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean a 95,22 kg/s con la fórmula de Bagnold, la fórmula que se aproxima es la de Parker, Klingeman y Mc Lean, siendo esta la más aceptable por estimar el gasto sólido de fondo en el río Chonta. Además, el volumen de sedimentos debido al transporte de fondo del río Chonta, aguas arriba de la captación El Chicche, para los meses de enero, febrero, marzo y abril de 2016 resultó ser 1741,62 m³. (VALDIVIA D, 2018)

✓ La tesis titulada “Estudio de transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo”. (DIAZ, D. 2018), en la cual, se estableció una estrategia de monitoreo de sedimento de fondo, utilizando la presa formada por el vertedero de la estructura de captación como un acumulador o totalizador de sedimentos de capacidad de almacenamiento conocido, se registraron los periodos de llenado de este acumulador, caudales y tiempo involucrados. Con esta estrategia se registraron 4 volúmenes de sedimentos de fondo medidos durante el año 2016. Se seleccionaron 4 fórmulas empíricas: Parker, Klingeman and McLean 1982 (P-K-Mc), Smart and Jaeggi 1983 (S-J), Bathurst (1987) y Meyer Peter y Müller 1948 (M-P-M), los resultados de cada una de ellas se compararon con el volumen de sedimento observado en campo, todas las fórmulas utilizadas sobre estimaron el volumen de sedimento de fondo real, siendo la que en menor cantidad sobre-estima la fórmula de Parker, Klingeman and McLean 1982 (P-K-Mc), la cual da un volumen de sedimento de fondo promedio de 600.845 m³.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 SUB CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO PORCÓN

Se denomina cuenca hidrográfica al área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga. Los límites de una cuenca están determinados por la línea de «divortium aquarum» o divisoria de aguas. Debemos señalar que no siempre los límites geográficos (superficiales) suelen coincidir con los límites del acuífero (subterráneo), pudiendo existir transferencias de masas líquidas entre una cuenca y otra adyacente o cercana. (FAUSTINO MANCO, 2007)

✓ GEOLOGÍA DEL RÍO PORCÓN.

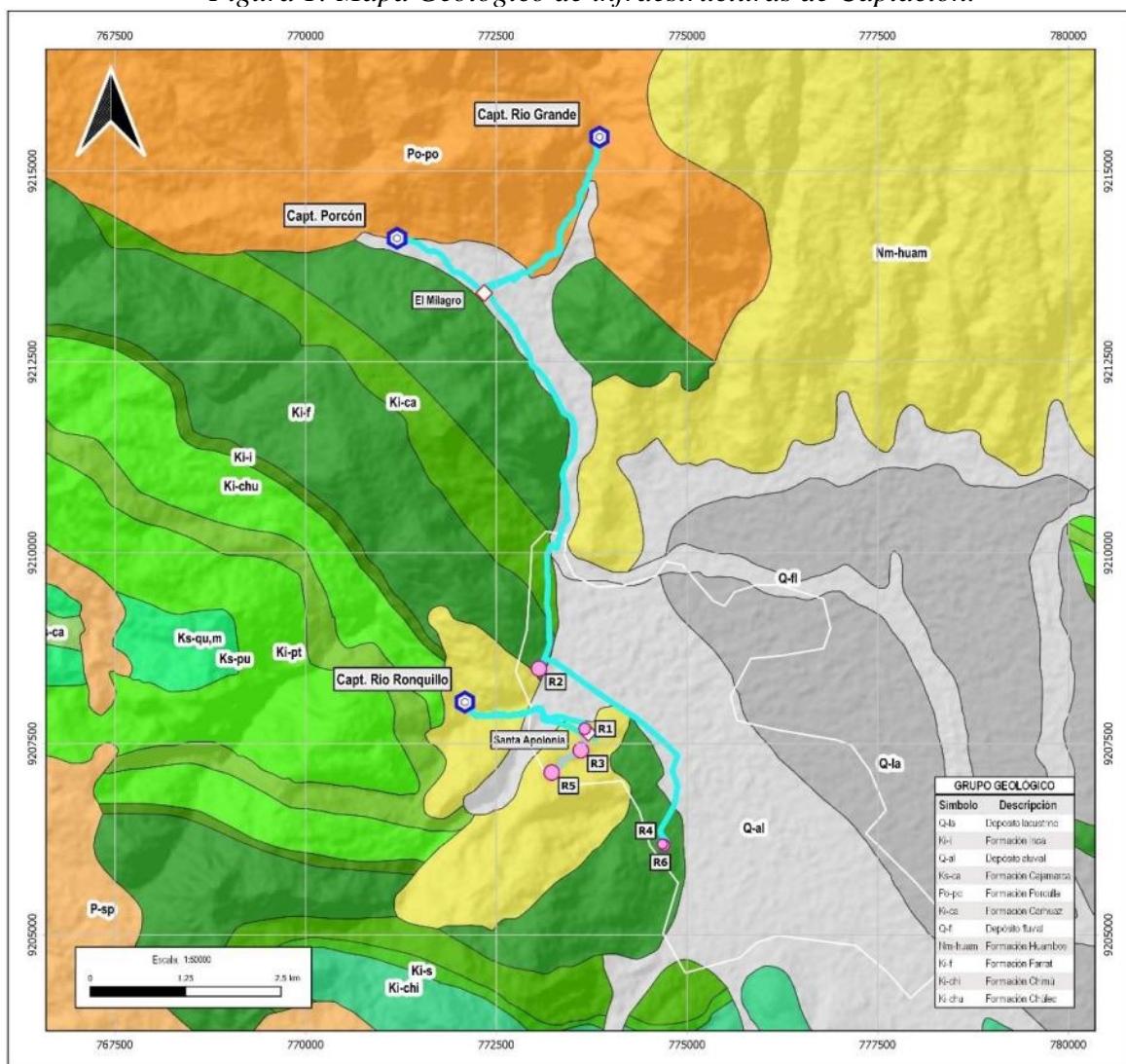
Mediante el proyecto de “Gestión integral de Riesgos”, la empresa Sedacaj elaboró una clasificación geológica con la información del proceso de la Zonificación Ecológica y Económica - ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca y con la información proporcionada del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET a través del Geo portal GEOCATMIN, donde el río Porcón se ubica en el cuadrángulo 15g, determinándose así que pertenece a la formación Po-po, cuyo nombre es formación Porculla. (PIGRD, Sedacaj, 2020)

Formación Porculla

Tobas andesíticas y riolíticas, gris blanquecinas; brechas piroclásticas andesíticas, así como lavas de esta misma composición. (PIGRD, Sedacaj, 2020)

La litología típica es una dacita compuesta por pequeños fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una matriz fina y dura de color gris verdoso. Esta misma litología caracteriza tanto a los derrames y brechas dacíticos como a los sills que están asociados con el volcánico Porculla. En el volcánico Porculla, conjuntamente con los sills y stocks asociados está vinculado con una fase extensa de mineralización. Es muy común hallar pirita singenética en las dacitas. (CRUZADO & CRISOLOGO, 2009)

Figura 1: Mapa Geológico de infraestructuras de Captación.



Fuente: SEDACAJ, 2020

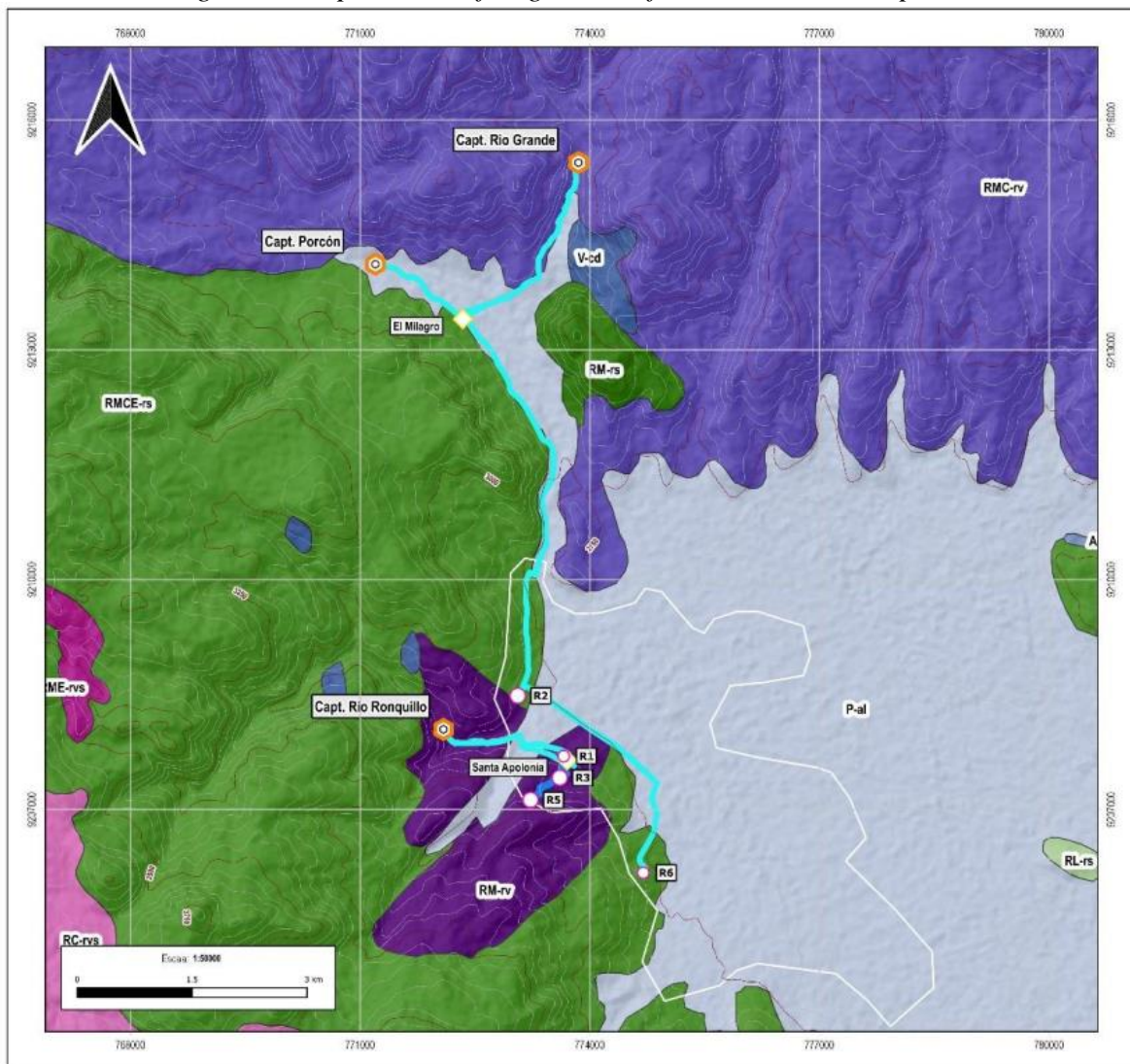
✓ GEOMORFOLOGÍA

Elaborado con información del proceso de la Zonificación Ecológica y Económica - ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca.

Captación Porcón su condición geomorfológica es:

Vertiente o piedemonte aluvio – lacustre (P – al) cuyo origen radica en la acumulación de sedimentos aluviales y fluviales sobre una concavidad vieja de tipo lagunar, parte de la configuración de esta unidad geomorfológica las terrazas que se encuentran en las márgenes de los ríos conformando un inmenso valle donde actualmente se viene practicando una ganadería y una agricultura intensiva; pero a la vez amenazados por el espectacular cambio de uso de la tierra intensificándose la expansión urbana. (PIGRD, Sedacaj, 2020)

Figura 2: Mapa Geomorfológico de infraestructuras de captación.



Fuente: SEDACAJ,2020

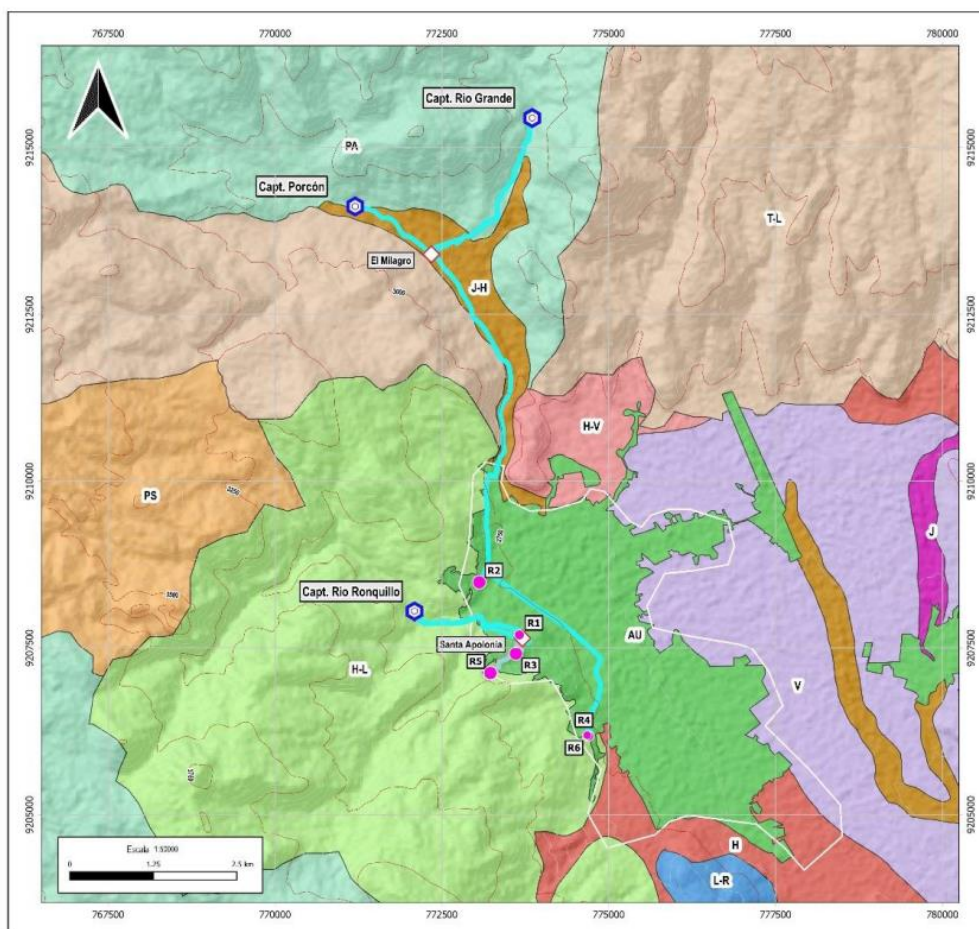
✓ CONDICIONES DE SUELO

Se ha elaborado el mapa de Grupos de suelos, de acuerdo a la información proporcionada del Gobierno Regional de Cajamarca, a través del Geoportal Mapoteca Virtual. Hallándose para la captación del río Porcón las condiciones de suelo siguientes:

PA Paramo andosol Montañas intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos Media A(B)C.

Páramo - Andosol (PA). Esto se realizó de acuerdo con la Clasificación Natural, Soil Taxonomy (2006), este suelo pertenece al Orden Andisols y al Gran grupo Haplocryands. Son suelos desarrollados a partir de rocas volcánicas, así como depósitos de materiales detríticos gruesos derivados de estas mismas rocas. El perfil dominante es A (B) C o A/C o A/R, pero en algunas partes aflora a la superficie la roca. Estos suelos son moderadamente profundos a profundos, se localizan en laderas de colina y montañas, de texturas medias, drenaje bueno, suelos con alta capacidad de retención de humedad, de reacción fuertemente a ligeramente ácida, pendientes empinadas, pedregosos y erosión moderada a severa. (PIGRD, Sedacaj, 2020)

Figura 3: Mapa Condiciones del suelo de captaciones.



Fuente: SEDACAJ,2020

✓ CONDICIONES DE PENDIENTES

La empresa Sedacaj realizó la clasificación de las pendientes en siete rangos, tomando como referencia el Anexo IV: Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos, del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, aprobado por D.S. N° 017 – 2009/AG el cual se muestra a continuación.

Tabla 1: Rango de pendientes de la Región de Cajamarca.

RANGO DE PENDIENTES %	DESCRIPCIÓN
0 -4	Nula o casi a nivel.
4 -8	Ligeramente inclinada.
8 -15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada.
15 -25	Moderadamente empinada.
25 -50	Empinada.
50 -75	Muy empinada.
75	Extremadamente empinada.

Fuente: PIGRD, Sedacaj, 2020

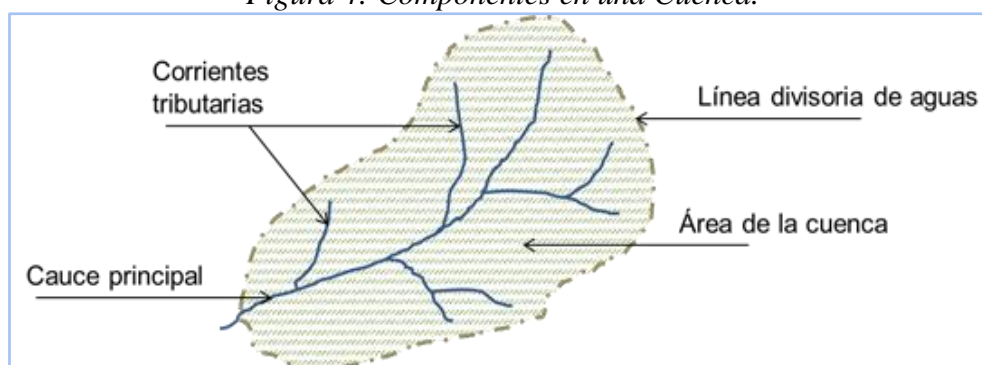
✓ CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La zona de suministro de sólidos de los ríos es su propia cuenca, es por tal motivo que necesitamos conocer sus parámetros geomorfológicos.

Área de la cuenca

Es un parámetro geomorfológico muy importante, además es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca. Estadísticamente se ha demostrado que el factor área es el más importante en las relaciones entre escorrentía y las características de una cuenca.

Figura 4: Componentes en una Cuenca.



Longitud del cauce principal

La longitud de un río (o corriente principal de la cuenca) es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento. (Ochoa R, 2010)

Perímetro de la cuenca

Es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca. Se mide siguiendo el contorno de la divisoria de aguas. (Ochoa R, 2011)

Factor de Forma

Es la relación entre el área de la cuenca (superficie) y el cuadrado de su longitud. Valores pequeños de este parámetro, muestran una tendencia de la cuenca a presentar crecientes lentos y sostenidos. (Horton R.E, 1932)

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Donde:

A= Área de la cuenca

L= Longitud de máximo recorrido

Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular de la misma superficie. Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987). Su expresión es la siguiente ecuación:

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Donde:

Kc= Coeficiente de Compacidad

P= Perímetro de la cuenca en Km

A= Área de la cuenca en Km^2

Parámetros relativos al relieve

El relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca.

✓ **Altitud media de la cuenca**

Este valor permite representar aspectos climáticos y naturales que están interrelacionados en la cuenca, a través de un patrón climático de la zona (ANA, 2010). Es el parámetro ponderado de las altitudes de la cuenca obtenidas en el mapa topográfico, se representa mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i \times A_i \quad (3)$$

Donde:

H= Altitud media (msnm).

H_i= altura correspondiente al área acumulada A_i encima de la curva H_i.

A= Área de la cuenca (Km²)

✓ **Pendiente de la cuenca (Sc)**

Es otro parámetro definidor del relieve, y se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante. Condiciona, en buena parte, la velocidad con que se da el escurrimiento superficial, además determina el tiempo de concentración y su influencia en las máximas crecidas. La aproximación más recomendada es la que nos brinda el método de Horton cuya expresión es la siguiente:

$$Sc = \frac{C}{A} \sum_{i=1}^n l_i \quad (4)$$

Donde:

Sc= pendiente de la cuenca.

C=equidistancia entre curvas de Nivel.

A= Áreas de la cuenca (Km²)

L_i= Longitud de cada curva de nivel (Km).

✓ **Pendiente del Cauce (So)**

- ✓ **Pendiente Uniforme (Su):** Es aquella que pasa por los puntos más altos y bajos de una determinada longitud, se mantiene constante en toda un área.

$$Su = \frac{H \text{ máx} - H \text{ mín}}{L} \quad (5)$$

Donde:

H máx.= altura máxima

H min= altura Mínima

L= longitud del tramo

En el estudio del comportamiento del recurso hídrico, el conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca es un parámetro importante. (VILLON M, 2002)

✓ **Taylor y Schwarz** nos recomiendan utilizar la siguiente expresión (CAMPOS, 1998):

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2 \quad (6)$$

Donde:

S= Pendiente del cauce principal.

n= Número de tramos en que se divide el cauce principal.

L= Longitud horizontal del cauce del río.

s_n =Pendiente de cada segmento, en que se subdivide el cauce principal.

✓ **Longitud del máximo recorrido (L)**

Es la distancia entre el punto de salida de la cuenca, y el punto más alejado de la misma siguiendo la dirección de drenaje, siendo esta la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca. (Ochoa R, 2011).

✓ **Tiempo de concentración (Tc)**

Es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de cuenca, determinándose mediante fórmulas experimentales, de las cuales la más utilizada en nuestro medio es la de Kirpich. (Kirpich, Z.P 1940)

$$Tc = 4 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (7)$$

Donde:

L= Longitud del río desde su nacimiento hasta el sitio donde se calcula la creciente (Km)

S= pendiente media del máximo recorrido (m/m).

Tc= tiempo de concentración (minutos).

✓ Coeficiente Orográfico (Co)

Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, crece mientras que la altura media del relieve aumenta y la proyección del área de la cuenca disminuye. Por esta razón toma valores bastante grandes para micro cuencas pequeñas y montañosas, disminuyendo en cuencas extensas y de baja pendiente (ORTIZ O, 2004).

$$Co = \frac{H^2}{A} \quad (8)$$

Donde:

Co= Coeficiente Orográfico, adimensional.

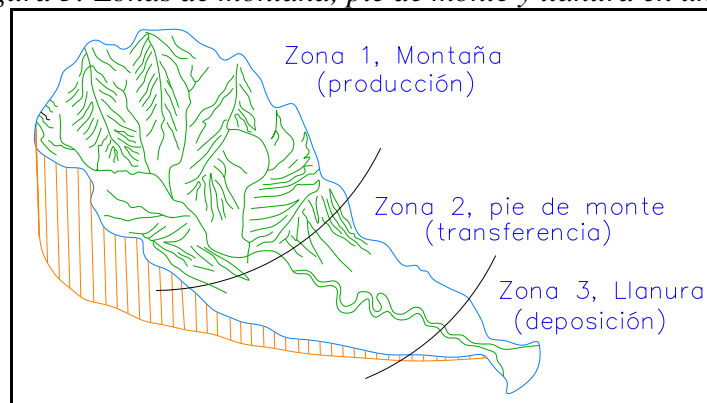
H= altitud media de la cuenca (msnm).

A= Área de la cuenca (Km^2).

2.2.2 MORFOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA DE LAS CORRIENTES NATURALES

La cantidad de agua y sedimentos que ingresan a un río, provenientes de la cuenca, dependen esencialmente de sus características, las cuales pueden ser morfométricas y fisiográficas. Las primeras incluyen el área de la cuenca, su forma y longitud, el ancho y los parámetros característicos propuestos por Horton, las características fisiográficas consideran las condiciones climáticas, el relieve, la cubierta vegetal, los tipos de suelos, la presencia de depresiones y lagunas y la densidad de drenaje. En lo que se refiere a las corrientes naturales y sus laderas, en el proceso de escorrentía influye decisivamente el relieve de la cuenca, incluyendo la pendiente del cauce principal, de sus afluentes y de las laderas. De acuerdo con el ciclo erosivo descrito por Davis, los ríos, o sus tramos, se clasifican en tres tipos: de montaña, de pie de monte y de llanura. (OCHOA R, 2011).

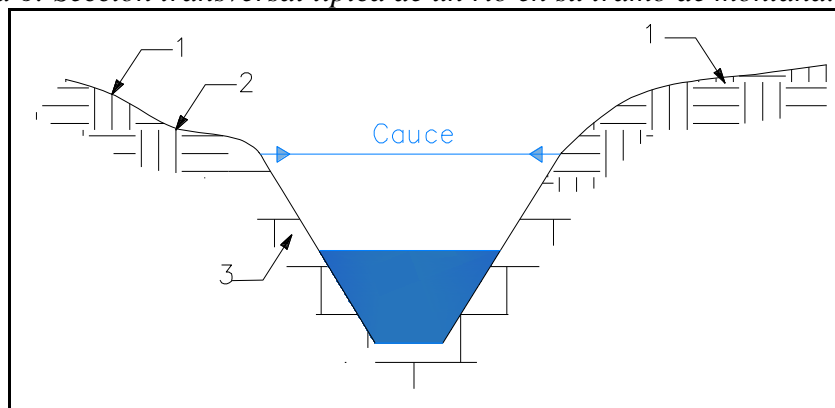
Figura 5: Zonas de montaña, pie de monte y llanura en un río.



Fuente: Charlton Ro, 2008

✓ *Ríos de montaña (juventud):* corren en valles angostos y poco desarrollados y presentan laderas de pendientes muy fuertes. El cauce puede ser rocoso y resistente a la erosión, llega a pendientes longitudinales fuertes, superiores a 0,005 y velocidades considerables durante crecientes, que varían de 1,0 a 2,5 m/s y en ocasiones hasta 5,0 m/s. Los ríos de montaña, característicos de cotas elevadas sobre el nivel del mar, están generalmente formados por bloques, cantos rodados con un poco de grava y casi nada de finos. Sus cuencas receptoras tienen forma de embudo, es la región más alta de la cuenca y de ella proviene la mayor parte del caudal y un alto porcentaje del material de acarreo. (OCHOA R, 2011).

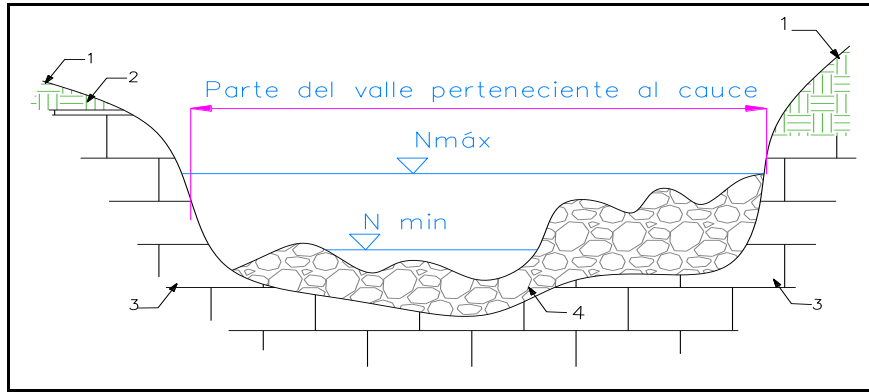
Figura 6: Sección transversal típica de un río en su tramo de montaña.



Fuente: ROTENBURG I, 1977. 1-ladera; 2- ladera cubierta con vegetación; 3- roca.

✓ *Ríos de piedemonte (madurez):* estos ríos poseen valles de configuración intermedia, con profundidades de agua no muy considerables. El relieve de la cuenca es ondulado o semimontañoso. Las pendientes longitudinales varían de 0,0005 a 0,005. Las velocidades medias de flujo durante crecientes están entre 1,5 y 3,0 m/s. el cauce ocupa una parte considerable del valle, los sedimentos en estos tramos son mayores que en los ríos de llanura. Generalmente están compuestos de arenas gruesas, gravas, cantos rodados y algunos bloques. También se denomina ríos de transición. En esta etapa se puede hablar ya de un verdadero régimen fluvial, en el cual la cuenca y el valle son amplios y extensos, el caudal es alto aun en los periodos de estiaje, y las crecientes de importancia ocurren cuando hay lluvias prolongadas. (OCHOA R, 2011).

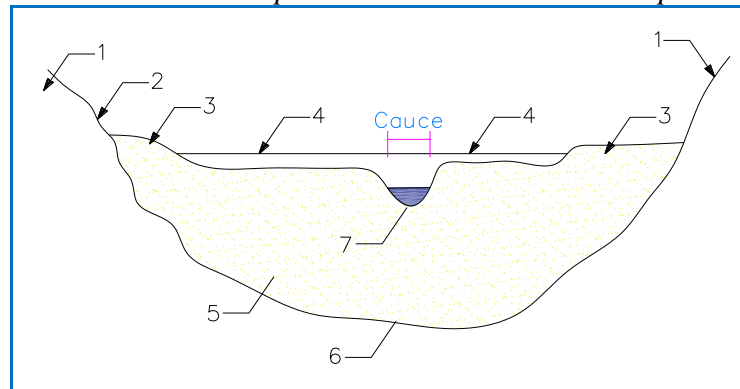
Figura 7: Sección transversal típica de un río en su tramo de pie de monte.



Fuente: ROTENBURG I, 1977. 1- ladera; 2- ladera cubierta con vegetación; 3- roca; 4- aluvión (grava, cantos y bloques).

✓ *Ríos de llanura (vejez)*: estos ríos corren en valles bastante profundos y anchos con laderas suaves (el ancho del valle puede alcanzar varios kilómetros). El fondo del cauce es generalmente aluvial, el cauce es la parte del valle a lo largo del cual se transporta el flujo y la mayor parte de los sedimentos en los periodos de aguas bajas, el lecho está compuesto de suelos erosionables como las arenas. Las pendientes longitudinales de estos ríos son pequeñas y generalmente inferiores a 0,0005. Durante las crecientes la velocidad del agua en el cauce esta entre 2 y 3 m/s. (OCHOA R, 2011).

Figura 8: Sección transversal típica de un río en su tramo de pie de llanura.



Fuente: ROTENBURG I, 1977. 1- Laderas; 2- laderas cubiertas de vegetación; 3- terraza; 4- Bancas; 5- aluvión; 6- fondo del valle; 7- cauce de verano del río.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS

- Muestreo de Sedimentos.

El material sólido granular que se encuentra en el lecho de un río, el cual ha sido transportado y depositado por el mismo río a lo largo de su evolución morfológica, es denominado sedimento aluvial. Por otra parte, el material detrítico proveniente de los procesos de meteorización de roca madre, que cae por gravedad depositándose al pie de laderas o en canales de fuerte pendiente en zonas de montaña, se denomina sedimento coluvial.

Para sedimentos gruesos se realiza un muestreo superficial según diversos métodos, el método utilizado en la presente investigación es:

- ✓ El método de muestreo areal (Bunte y Abt, 2001): se recogen absolutamente todas las partículas expuestas en la superficie, dentro de un área del orden de 0.1 m² a 1 m². El muestreo areal puede ser manual, con elementos adhesivos o mediante fotografías y se realiza en lechos de grava con abundante proporción de grava fina y arena. Cuando se realiza con elementos adhesivos (arcilla, cera, etc.) la muestra es llevada a laboratorio para ser tamizada. Este método se utiliza en ríos de régimen intermitente cuando se encuentran secos o en ríos perennes pero vadeables.

- Tamaño de partículas.

Las partículas de suelo son de diferente tamaño, y varían entre muchos órdenes de magnitud, muchos han realizado diversas clasificaciones para establecer el tipo de material que contiene un suelo.

los suelos generalmente son llamados: grava, arena, limo, arcilla o una mezcla de ellos. En la Tabla 2. se muestra algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

Tabla 2: Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo.

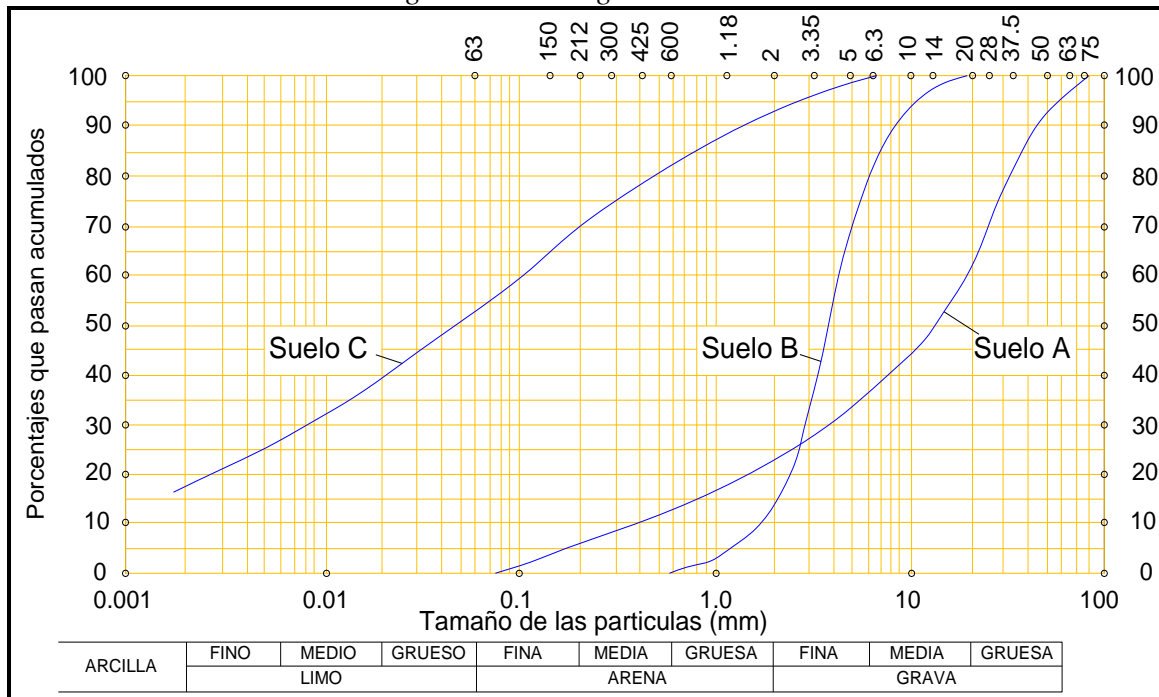
Nombre de organización	Grava (Haddadchi, omid, & Dehghani)	Arena (Haddadchi et al.)	Limo (Haddadchi et al.)	Arcilla (Haddadchi et al.)
Instituto tecnológico de Massachusetts (Smith & Owens)	> 2 mm	2 a 0.06 mm	0.06 a 0.002 mm	<0.002 mm
Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2 mm	2 a 0.05 mm	0.05 a 0.002 mm	<0.002 mm
Asociación Americana de funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2 mm	2 a 0.075 mm	0.075 a 0.002 mm	<0.002 mm
Sistema Unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Burneau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75 mm	4.75 a 0.075 mm	Finos (es decir, limos y arcillas <0.075 mm)	
American Society for Testing and Materials (ASTM)	> 2 mm	2 - 0.075 mm	0.075 - 0.005 mm	<0.005 mm

- Análisis granulométrico

El conocimiento de la composición granulométrica de un lecho fluvial constituye un dato de crucial importancia tanto para la determinación de la resistencia al flujo, como sí también para el estudio del transporte de sedimentos, los procesos morfológicos asociados y la calidad del hábitat fluvial para diferentes especies. Por lo tanto, se requiere determinar la distribución granulométrica del sedimento que se encuentra en un medio complejo como es el lecho de un río aluvial. La mayor parte de las distribuciones son obtenidas a partir de la frecuencia en peso por tamizado de una muestra volumétrica que se extrae del lecho del río. Sin embargo, cuando el lecho está compuesto por sedimentos gruesos (grava muy gruesa, guijarros y cantos rodados) generalmente se realiza un muestreo superficial individual, obteniéndose de esta manera una distribución de frecuencia por número. Por otra parte, para sedimentos finos ($d < 62.5 \mu\text{m}$) la distribución granulométrica se obtiene indirectamente mediante el análisis de sedimentación de una muestra volumétrica. (Basile P, 2018)

Los tamaños de la grava y de la arena se reconocen fácilmente, para separar una de la otra se usa el tamaño de ½ cm como equivalente a la malla No. 4. Para la estimación del contenido de finos es suficiente considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla N0. 200 son aproximadamente las más pequeñas que se pueden distinguir a simple vista. Para la granulometría de los suelos finos se agita la muestra en agua dentro de un recipiente de vidrio y se le deja sedimentar. (CRESPO C, 2008)

Figura 9: Curva granulométrica



- El suelo A representa un suelo bien gradado y de grano grueso.
- ✓ El suelo B representa un suelo mal gradado, de poca uniformidad (curva parada sin extensión)
- ✓ El suelo C corresponde a una arcilla limosa (suelo fino).

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (9)$$

En donde:

D_{60} = Tamaño tal, que el 60% en peso del suelo sea igual o menor en mm.

D_{10} = Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo.

El valor numérico de la relación de C_u , decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con $C_u < 3$ se consideran muy uniformes, aun las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan $C_u < 2$. (Juárez & Rico, 1998)

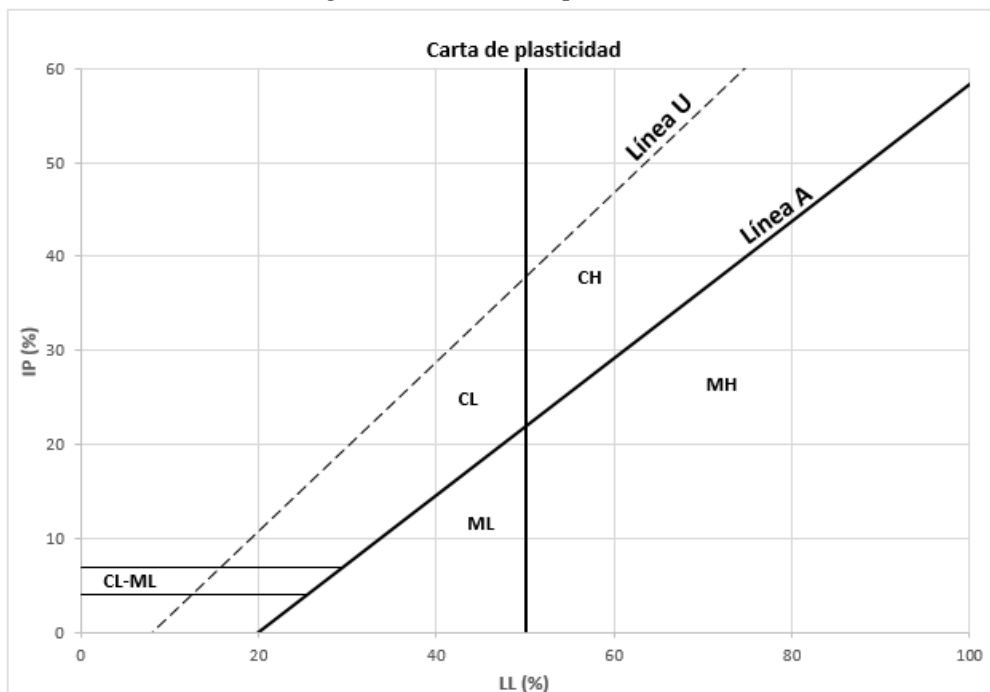
El tamizado puede ser aplicado para gravas y arenas haciendo pasar una muestra volumétrica de sedimentos por una serie de tamices. En este caso el índice de tamaño lo define el diámetro de tamiz. En la tabla N°1 se presenta la serie de tamices de la U.S.STD (United States Standard Sieves) adoptada por la ASTM. Para una clasificación de tipo de suelo también tenemos la del sistema unificado de clasificación de suelos. Véase las siguientes tablas.

Tabla 3: sistema unificado de clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava.

símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A; índice de plasticidad menor que 4
GC	más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A; índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML.
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No.200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW Y GM.
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No.200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW Y GC.
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No.200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM.
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No.200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC.

Fuente: BRAJA M, DAS. 2010

Figura 10: Carta de plasticidad.



Fuente: BRAJA M.DAS.2010

✓ **Diámetros característicos de las partículas**

Se definen los siguientes diámetros característicos de las partículas:

D35: Diámetro de la malla por donde pasan el 35 por ciento de los sedimentos de la muestra.

Es el diámetro característico propuesto por Einstein para representar el diámetro de la muestra.

D40: Diámetro usado por Schoklitsch para representar la muestra.

D50: Diámetro que en muchos casos representa el diámetro medio. Shields utilizo este diámetro para su estudio del inicio del movimiento.

D65: Diámetro utilizado por Einstein para representar la rugosidad de granos.

D84: Diámetro derivado de un análisis probabilístico. Se utiliza para definir la graduación del material.

Dm: Diámetro medio aritmético. Se puede obtener de:

$$D_m = \frac{\Delta_1 D_1 + \Delta_2 D_2 + \Delta_3 D_3 + \dots + \Delta_n D_n}{100} = \sum \frac{\Delta_i D_i}{100} \quad (10)$$

Dónde:

Δ_i : Representa una porción del porcentaje del gráfico de distribución granulométrica

D_i : Valor medio del diámetro que corresponde a Δ_i .

(DIAZ, D.2018)

Tabla 4: Serie de tamices ASTM

Tamiz	Abertura de malla (mm)	Tamiz N°	Abertura de malla (mm)	Tamiz N°	Abertura de malla (mm)
5"	127.0	3.5	5.657	45	0.354
4.24"	107.7	4	4.757	50	0.297
4"	101.6	5	4.000	60	0.250
3 1/2"	88.9	6	3.364	70	0.210
3"	76.2	7	2.828	80	0.177
2 1/2"	63.5	8	2.378	100	0.149
2"	50.8	10	2.000	120	0.125
1 1/2"	38.1	12	1.682	140	0.105
1"	25.4	14	1.414	170	0.088
7/8"	22.2	16	1.189	200	0.074
3/4"	19.1	18	1.000	230	0.0625
5/8"	15.9	20	0.841	270	0.0526
1/2"	12.7	25	0.707	325	0.0450
3/8"	9.52	30	0.595	400	0.0380
5/16"	7.94	35	0.500	450	0.0320
1/4"	6.35	40	0.420	500	0.0250

Los cantos rodados y guijarros se pueden medir en el lugar el proyecto (In situ).

Tabla 5: Clasificación cantos rodados y guijarros

Descripción	Diámetro
Cantos rodados	250 - 4000 mm
Guijarros	64 - 250 mm

Fuente: American Geophysical Unión

✓ **Peso específico de los sedimentos (γ_s):** Se define como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua, a 4°C, destilada y sujeta a una atmósfera de presión (Juárez Badillo -Rico Rodríguez, 1998).

El peso específico de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen, sin considerar sus vacíos. Se calcula dividiendo el peso de un cuerpo o porción de materia entre el volumen que éste ocupa. En el Sistema Internacional de Unidades, en Newton por metro cúbico (N/m³), para poder conocer el valor del peso específico del sedimento es necesario conocer la densidad que posee y luego afectarla por la gravedad.

En la siguiente tabla, se muestra los valores de la densidad de los suelos comúnmente hallados en campo.

Tabla 6: Densidad de los suelos según su clasificación.

Tipo de suelo	Densidad (g/cm ³)
Cenizas volcánicas	2.20 - 2.50
suelos orgánicos	2.50 - 2.65
Arenas y gravas	2.65 - 2.67
Limos inorgánicos	2.67 - 2.72
Arcillas poco plásticas	2.72 - 2.78
Arcillas plásticas	2.78 - 2.84
Arcillas expansivas	2.84 - 2.88
Suelos con abundante hierro	3.00

Fuente: (HOYOS SAUCEDO,2000)

✓ **Densidad relativa o peso específico de sedimentos ($\rho_r = \gamma_s$)**

$$\rho_r = \gamma_s = \frac{W_s}{V_f - V_i} \quad (11)$$

Donde:

ρ_r = Densidad relativa, Kg/m^3 .

γ_s = Peso específico de sedimentos, en Kg/m^3

W_s = Peso seco de la muestra, en Kg.

V_i = Volumen del agua inicial, en m^3

V_f = Volumen del agua más la muestra, en m^3

✓ **Densidad aparente de los sedimentos (ρ_a)**

$$\rho_a = \frac{W_s}{V_o} \quad (12)$$

Donde:

W_s = Peso seco de la muestra, en Kg.

V_o = Volumen que la muestra ocupaba en campo, en m^3

✓ **Porosidad (η)**

$$\eta = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (13)$$

Donde:

ρ_a = Densidad aparente de la muestra, Kg/m^3 .

ρ_r = Densidad relativa de la muestra, Kg/m^3 .

✓ **Densidad relativa de la partícula dentro del agua (Δ)**

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (14)$$

Donde:

γ_s =Peso específico de sedimentos, en Kg/m^3

γ =Peso específico del agua, en Kg/m^3 . ($\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$)

- **Coefficiente de rugosidad o Manning**

No existe ningún método exacto para la selección del coeficiente de rugosidad (n). Seleccionar un valor de "n " significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado, lo cual, demanda una experiencia para evitar que el problema se limite a un proceso de aproximaciones. Para estimar el coeficiente Manning utilizaremos el siguiente método:

✓ **Método de Strickler:** Cuando los lechos de los cauces naturales están constituidos por material pedregoso, donde el sedimento es representado por un diámetro medio, se recomienda el uso de la ecuación de Strickler para la estimación de "n".

$$n = 0.038 D^{1/6} \quad (15)$$

Donde:

D: Diámetro medio de las partículas de fondo (m)

El diámetro "D" es equivalente al diámetro D_{65} , D_{90} o D_{95} dependiendo del acorazamiento del lecho. Particularmente cuando los sedimentos ofrecen una granulometría gruesa y extendida, el diámetro medio de la coraza es cercano al D_{90} o D_{95} obtenido de la curva granulométrica original del lecho. (CHOW, V.T. 1983)

- **Rugosidad del cauce debido a las partículas en un fondo plano (n')**

$$n' = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} \quad (16)$$

Donde:

n' = Rugosidad del cauce en un fondo plano, $s/m^{1/3}$

D_{90} = Diámetro de la curva granulométrica tal que el 90% de las partículas son menores que él, expresado en m.

(Maza Álvarez, y otros, 2007)

- **FORMA:** La forma describe la geometría de la partícula independientemente de su tamaño, densidad o composición mineralógica. La forma es importante debido a su influencia en el movimiento de la partícula en el seno de la corriente hídrica.

Factor de forma: La velocidad de caída de una partícula de sedimento, es influenciada por la forma de la misma. Diferentes estudios (McNown y Malaika, 1950; Albertson, 1952; Schultz, 1954) han concluido que dicha influencia puede ser representada a través del factor de forma de Corey.

$$SF = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (17)$$

Donde:

a = dimensión triaxial, longitud mayor.

b = dimensión triaxial, longitud intermedia.

c = dimensión triaxial, longitud menor.

Para una esfera perfecta SF=1, para arenas naturales SF ≈ 0.7

2.2.4 CAUDAL DOMINANTE O FORMATIVO DEL CAUCE

Es el caudal que debe emplearse para definir la geometría de un río. El caudal que llena el cauce principal desarrolla la mayor o más importante acción modeladora sobre el cauce (en términos de velocidad o en términos de tensión tangencial) puesto que un caudal mayor es menos frecuente y sobre todo apenas incrementa la acción; es por ello que al caudal lleno se conoce como caudal formativo o dominante. Además, un orden de magnitud para el caudal formador se sitúa en la venida que se da dos veces al año como promedio y para otros con un periodo de retorno de 1.4 años, pero el caudal dominante es efectivo entre 1.5 y 7 años de periodo de retorno. El caudal formativo es el determinante de la geometría hidráulica. (CORUÑA, 2002). La formación del cauce de un río es el resultado del cambio constante de las descargas, y la descarga a cauce lleno, es usualmente utilizada como la descarga formativa del cauce. La descarga formativa o dominante de varios ríos estudiados por Williams (1978) no tiene una frecuencia recurrente común. Usando un conjunto de 233 datos, Williams obtuvo la siguiente ecuación de regresión para la descarga formativa. (Apaella. 2014)

$$Q = 4 \times A_f^{1.21} S^{0.28} \quad (18)$$

Donde:

Q = Caudal dominante, en pies³/s

A_f = Área correspondiente al cauce con caudal dominante, en pies²

S = pendiente de la superficie de agua (pie/pie).

2.2.5 ASPECTOS DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL

El agua y el sedimento que transportan las diferentes corrientes modelan la geometría de los cauces. El estudio de las relaciones que existen entre las diferentes variables que actúan, como caudal, carga de sedimentos, tipo de granulometría, etc., es lo que se denomina como la hidráulica fluvial.

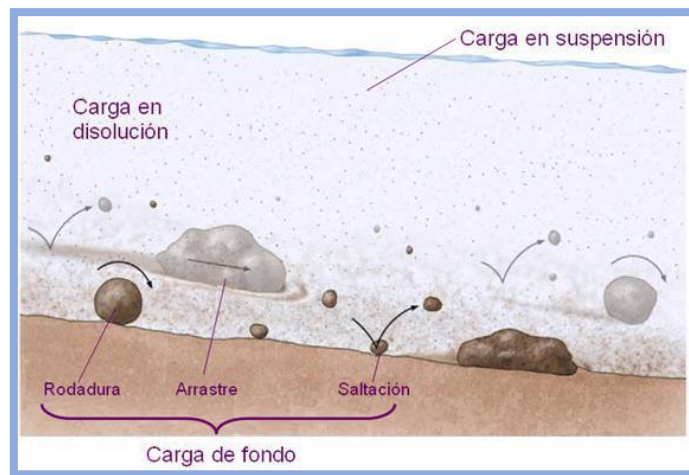
✓ Transporte de sedimentos

Se denomina así a las diversas formas de transportar mediante el flujo de una corriente, y generalmente se manifiesta cuando el esfuerzo cortante promedio sobre el fondo del cauce excede el esfuerzo crítico del material de fondo. (Apacla, R.2014).

El tipo de movimiento experimentado por las partículas depende de las características físicas (tamaño, forma, peso específico, etc.), de la composición granular del sedimento y de las condiciones de la corriente (velocidad, profundidad, pendiente de las superficies, etc.)

Cuando ocurre una tasa baja de transporte, la partícula se desplazará rodando sobre la superficie de la cama del cauce. Si el esfuerzo hidráulico aumenta, la partícula se desplazará saltando, debido a la rugosidad del fondo y a la fuerza de ascenso. De manera recurrente, la partícula experimentará nuevos saltos por efecto del impacto sobre el fondo del cauce y de la fuerza de ascenso (Garde, 1995).

Figura 11: Formas de transporte de sedimentos



Fuente: (CHARLTON, R. 2007)

En relación a las formas de transporte, las partículas que siempre están en suspensión son las más finas (carga de lavado), las partículas mayores pueden ser transportadas en suspensión y ocasionalmente pueden sufrir procesos de sedimentación, y finalmente las partículas más

grandes sufren arrastre por el fondo en forma de rodadura, deslizamiento o incluso muy pequeños saltos (arrastre de fondo). (Martínez E, 2001).

✓ ***Técnicas de medición de sedimentos de fondo:***

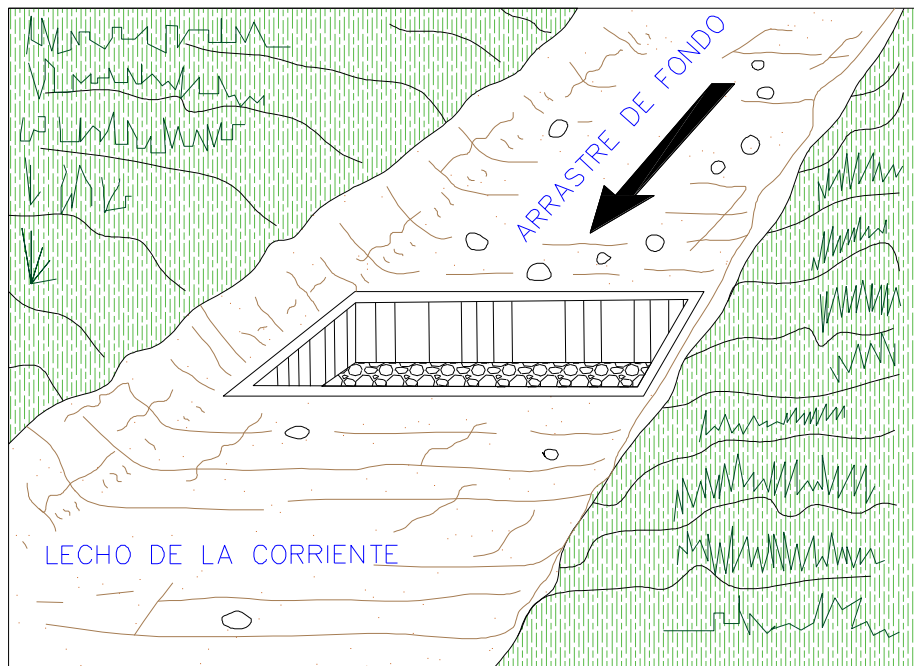
El transporte de fondo está constituido por el sedimento que se mueve por arrastre, rodadura o saltación en un estrato cerca del lecho del río. Este tipo de transporte es difícil de medir por varias razones. Cualquier dispositivo que se coloca sobre o cerca del lecho puede perturbar el flujo y la velocidad de movimiento de la carga sólida. Más importante aún, el transporte de fondo y la velocidad del agua en proximidades del lecho varían considerablemente con respecto al espacio y al tiempo. Por lo tanto, un muestreador de transporte de fondo debe ser capaz de muestrear en forma representativa, directa o indirectamente, la masa o el volumen de partículas de sedimento que se mueven en contacto o cerca del lecho, en un ancho determinado y en un especificado período de tiempo. (Basile P, 2018)

Medición directa: Las mediciones directas se realizan con muestreadores portátiles o en instalaciones fijas en el río. La forma más sencilla de calcular el arrastre de fondo, consiste en cavar un agujero en el lecho de la corriente y en retirar y pesar el material que cae en él, es decir una instalación fija.

Los reservorios de sedimentación (Bunte y Swingle, 2003) son generados por pequeños diques de control que crean un reservorio donde se depositan los sedimentos transportados por el curso de agua. Los sedimentos depositados en el reservorio son recuperados periódicamente y pesados. Este sistema se utiliza en cursos de agua pequeños y generalmente integra el transporte espacialmente en la sección transversal y temporalmente en el arco de tiempo de una crecida. En algunos reservorios de sedimentación está previsto el pesaje continuo, mediante sensores de presión instalados en el fondo del reservorio, lo cual permite conocer la evolución temporal del transporte.

La cuenca aguas arriba de un vertedero o canal de aforo puede actuar análogamente como trampa de sedimentos, pero es posible que no se sepa si se ha recogido todo el arrastre de fondo. En los lugares con grandes cargas de arrastre, este procedimiento puede necesitar mucho tiempo.

Figura 12: Trampa de arrastre de fondo.



Fuente: (HUDSON, N. 1997)

✓ Caudal sólido

Llamada también carga de sedimentos, teóricamente se asume que estos sedimentos ocupan una capa en el fondo del río, con un espesor igual a $2d$, siendo d el diámetro medio de sus partículas (Ochoa T, 2011).

A continuación, se muestran formulas mediante las cuales se puede calcular el gasto sólido de fondo total.

- *Fórmula de Meyer-Peter y Müller*: realizaron 4 pruebas, la última es la más explícita y practica de sus ecuaciones, y es la siguiente:

$$G_B = 8\gamma_S A_m (g\Delta D_m^3)^{1/2} \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \frac{RS}{\Delta D_m} - 0.047 \right]^{3/2} \quad (19)$$

Donde:

G_B = Gasto sólido de fondo total (Kg/s).

Δ = Densidad relativa de la partícula.

γ_S = Peso específico del sedimento seco (Kg/m^3).

A_m = ancho medio del cauce, en m.

D_m = Diámetro medio de las partículas (m)

g = Aceleración de la gravedad (m^2/s)

n' = Rugosidad del cauce debido a las partículas en un fondo plano (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad o Manning

R = Radio Hidráulico (m)

S = Pendiente de fondo del canal.

- *Fórmula de Einstein y Einstein –Brown*: fue propuesta en 1942, complementada y publicada en 1950, basada en resultados experimentales obtenidos por Gilbert 1914 y Meyer Peter y Müller, las expresiones obtenidas son las primeras que establecen que la cantidad de transporte g_B depende básicamente del parámetro ψ intensidad del flujo, que es igual al recíproco del parámetro de Shields, τ_* , y del parámetro de intensidad de transporte, ϕ . (MAZA J & GARCIA M).

El parámetro de shields es:

$$\tau_* = \frac{RS}{\Delta D_{50}} \quad (20)$$

Si $0.045 \leq \tau_* \leq 0.19$ o $22 \leq \Psi \leq 5.263$

$$g_B = 2.151 * A_m F_1 \gamma_S \sqrt{g \Delta D_{50}^3} e^{-0.391/\tau_*} \quad (21)$$

Si $1.0 \leq \tau_* \leq 0.19$ o $1 \leq \Psi \leq 5.263$

$$g_B = 40 * A_m F_1 \gamma_S \left(\frac{RS}{\Delta D_{50}} \right)^3 \sqrt{g \Delta D_{50}^3} \quad (22)$$

F_1 vale:

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g \Delta D_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{g \Delta D_{50}^3}} \quad (23)$$

Donde:

G_B = Gasto sólido de fondo total (Kg/s).

Δ = Densidad relativa de la partícula.

γ_S = Peso específico del sedimento seco (Kg/m³).

D_{50} = Diámetro de partículas en que el 50% de la muestra es menor que ese tamaño (m).

A_m = Ancho medio del cauce, en m

g = Aceleración de la gravedad (m²/s)

τ_* =Parámetro adimensional de Shields.

R = Radio Hidráulico (m)

S = Pendiente de fondo del canal.

F_1 = velocidad de caída propuesto por Rubey.

ν = Viscosidad cinemática del agua $1 * 10^{-6} m^2/s$

- *Fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean*: fue propuesta en 1982, difiere del resto de fórmulas en que se basa única y exclusivamente en datos de campo. Los valores obtenidos por esta fórmula son los que mejor se ajusta a las tasas reales de transporte, además predice el arrastre de fondo para condiciones de cuasi-equilibrio, en corrientes con fondo no consolidado, de tamaño medio, de pendiente moderada y con presencia de grava, pero sin acumulaciones importantes de arena en el fondo del cauce (Parker, 1990). Para determinar el valor de W debemos conocer primero el valor de ϕ_{50} y posteriormente ver si aplicamos la fórmula N° 27 o N° 28.

$$G_B = 1400 \left(\frac{Wg^{1/2}(dS)^{3/2}}{2.65} \right) * A_m \quad (24)$$

Donde:

G_B = Gasto sólido de fondo total, kg/s.

g = Aceleración de la gravedad, m/s^2 .

d = tirante medio de la sección, m.

S = pendiente del fondo del cauce, m/m.

A_m = Ancho medio del cauce, en m.

$$\phi_{50} = \frac{\tau_{50}^*}{0.0876} \quad (25)$$

Y τ_{50}^* se obtiene mediante:

$$\tau_{50}^* = \frac{0.606R_h S}{D_{50sub}} \quad (26)$$

Donde:

R_h = Radio hidráulico de la sección, en m.

D_{50} = Diámetro del 50 % de los sedimentos, en m.

Para $0.95 < \phi_{50} < 1.65$

$$W^* = 0.025e^{[14.2(\phi_{50}-1)-9.28(\phi_{50}-1)^2]} \quad (27)$$

Para $\phi_{50} > 1.65$

$$W^* = 11.2 \left(1 - \frac{0.822}{\phi_{50}} \right)^{4.5} \quad (28)$$

Los autores realizaron una serie de estudios, obteniendo el esfuerzo hidráulico normalizado para el tamaño de partículas D_{50} para la sub superficie del lecho, esfuerzo hidráulico

adimensional para D_{50} para la sub superficie del lecho, de manera que la fórmula cambia para cada caso.

- *Fórmula de Pernecker y vollmers:* Propuesta en 1965, sus autores dibujaron las curvas obtenidas con las fórmulas propuestas por otros autores y efectuaron una comparación bastante detallada entre los diferentes métodos, destacando el de Kalinske, Meyer-Peter y Müller y Einstein-Brown.

$$G_B = 25\gamma_s A_m (g\Delta D^3)^{1/2} \tau_*^{3/2} (\tau_* - 0.04) \quad (29)$$

Donde:

G_B = Gasto sólido de fondo total, kg/s.

γ_s = Peso específico del sedimento seco (Kg/m^3).

A_m = Ancho medio, en m.

g= Aceleración de la gravedad (m^2/s).

Δ = Densidad relativa de la partícula.

τ_* = Parámetro adimensional de Shields.

Nota: se recomienda utilizar como diámetro representativo de una muestra al diámetro medio $D=D_m$

- *Fórmula de Mizuyama y Shimohigashi:* propuesta en 1985, se considera que presenta resultados favorables en cauces de montaña, para determinar el caudal sólido toma en cuenta el diámetro de los sedimentos, la pendiente del cauce y el caudal líquido de crecida. (MARIN M,2010)

$$G_B = 20A_m \frac{S^2}{\Delta^2} \frac{q}{\sqrt{g\Delta D_{50}^3}} \quad (30)$$

Donde:

g_B = Gasto sólido de fondo total, kg/s.

S= pendiente del fondo del cauce, en m/m.

q= caudal líquido por unidad de ancho, en m^3/sm .

g= Aceleración de la gravedad, m/s^2 .

A_m = Ancho medio de la sección, en m.

D_{50} = Diámetro del 50 % de los sedimentos, en m.

Δ = Densidad relativa de la partícula.

✓ **Volumen acumulado de sedimentos:**

Se puede medir a través de varios métodos, desde equipos manuales hasta trampas in situ.

La cantidad se expresa en m^3 , y son partículas sólidas transportadas por un río en un determinado tiempo.

Se puede conocer a través de fórmulas semiempíricas con relación a estimaciones de tiempo.

Mediante un levantamiento topográfico al momento de realizar una excavación dentro del río, y observando cada vez la cantidad de sedimentos atrapados en la trampa, hasta que este esté totalmente cubierto, en este momento realizar un nuevo levantamiento topográfico, lo cual nos permitirá conocer el volumen de sedimentos atrapados en un periodo de tiempo.

El transporte unitario de sedimentos puede expresarse en unidades de peso(kgf/s/m) o en unidades de volumen ($m^3/s/m$), cuando el material sedimentado considera un tiempo de almacenamiento se tiene la siguiente fórmula para conocer el volumen.

$$V = \frac{Q_x \Delta t}{1 - \eta} = \frac{G_x \Delta t}{\gamma_s (1 - \eta)} \quad (31)$$

Donde:

V = volumen de sedimentos en m^3

G_x = transporte de sedimentos en peso que pasa por la sección completa, en kg/s

Q_x = transporte de sedimentos en volumen que pasa por la sección completa, en m^3/s

η = porosidad

Δt = intervalo de tiempo, en s.

γ_s = peso específico seco, en kg/m^3

2.2.6 CAUDAL DE AFORO

Es el conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado, existen diversos métodos de medición y además el caudal es un parámetro importante para realizar el estudio de transporte de sedimentos, puede conocerse el valor del mismo mediante estaciones de aforo (niveles de agua), que generalmente son las estaciones hidrométricas, pero habiendo ausencia de las mismas en diversas partes de nuestro país, se utilizan los diferentes métodos convencionales. Algunas de las formas que nos permiten conocer el caudal son:

- ✓ Estación boya contrapeso
- ✓ Limnigrafo
- ✓ Tubo de Pitot
- ✓ Correntómetro digital

Este último equipo nos permite obtener la velocidad promedio que hay en un tramo de la sección, a la vez nos puede proporcionar datos como velocidad máxima y mínima. Mediante el uso de este equipo se realiza un aforo más apropiado.

- Correntómetro modelo FP111-Global wáter.

El correntómetro FP111, consta de un turbo propulsor protegido y está dentro de una carcasa de plástico de dos pulgadas en “T”. Tiene un desplazamiento positivo y además un tubo de aluminio expandible con una pantalla digital de fácil lectura.

En el medidor muestra lo más importante que es la velocidad promedio, y si se desea también puede determinar la velocidad máxima y mínima del caudal. La carcasa de la sonda se puede colocar directamente en la parte superior de una tubería o también de manera similar de un riachuelo y, sirve para medir caudales de cauces tan bajos como dos pulgadas.

La Hélice: Amplifica la señal y convierte la lectura a pies o metros por segundo, de acuerdo a lo configurado por el usuario.

Figura 13: Hélice de medición.



Fuente: Manual correntómetro FP111-Global wáter

Pantalla Digital: La computadora de velocidad del agua tiene la capacidad de almacenar hasta 30 conjuntos de lecturas del mínimo, máximo y promedio. También tiene una carcasa resistente al agua. Como también incorpora una operación única de cuatro botones para cambiar funciones y reiniciar la pantalla. Ciertamente, la computadora de velocidad del agua, funciona con una batería no reemplazable que durara aproximadamente cinco años con el uso normal.

Figura 14: Pantalla Correntómetro FP111 GW.



CARACTERÍSTICAS DEL CORRENTÓMETRO DE HÉLICE FP111

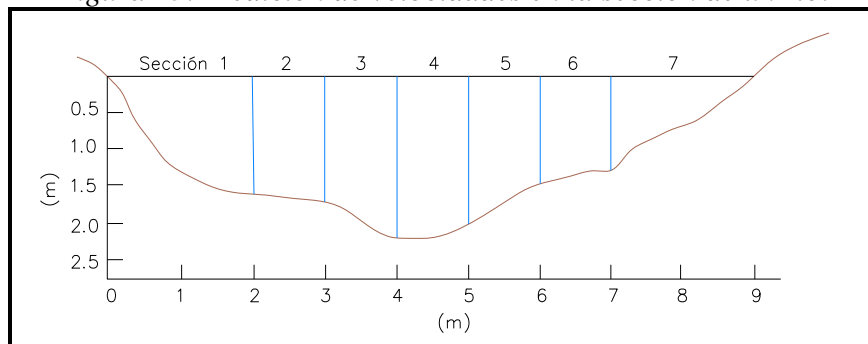
- Marca: Global Wáter
- Correntómetro: FP111
- Rango de Medición: 0.1 m/s hasta 6.1 m/s
- Precisión: 0.030 m/s
- Promedio: Actualizable una vez por segundo
- Pantalla Digital: LCD, con protección UV. ft/s, m/s
- Longitud: Expandible 1.1 a 1.8m
- Memoria: Almacenamiento 30 datos con MIN, MAX, PROM.
- Sensor: Turbo Prop hélice con sensor magnético
- Material de la varilla: PVC y Aluminio anodizado con acero inoxidable.
- Temperatura -20° a 70° C

¿CÓMO SE USA EL CORRENTÓMETRO?

PROCEDIMIENTO

- Primero, se divide en secciones, un área transversal al río accesible de la corriente de agua.

Figura 15: Medición de velocidades en la sección de un río.



- Segundo, calcular el área.
- Tercero, la velocidad.
- Finalmente, el resultado.

$$\text{Caudal (m}^3/\text{s)} = \text{Velocidad promedio} \times \text{área} \quad (32)$$

CAUDAL TOTAL: El caudal Total es el aporte(caudal) de cada una de las secciones en que se dividió el área transversal.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ZONA DE ESTUDIO

La captación en estudio se ubica en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca. Está ubicado exactamente en las coordenadas UTM (WGS 84) Este: 771187.88 Norte: 9214132.63 Altitud: 2841.27, en el caserío de Huambocancha Alta, fue construida el año 1980.

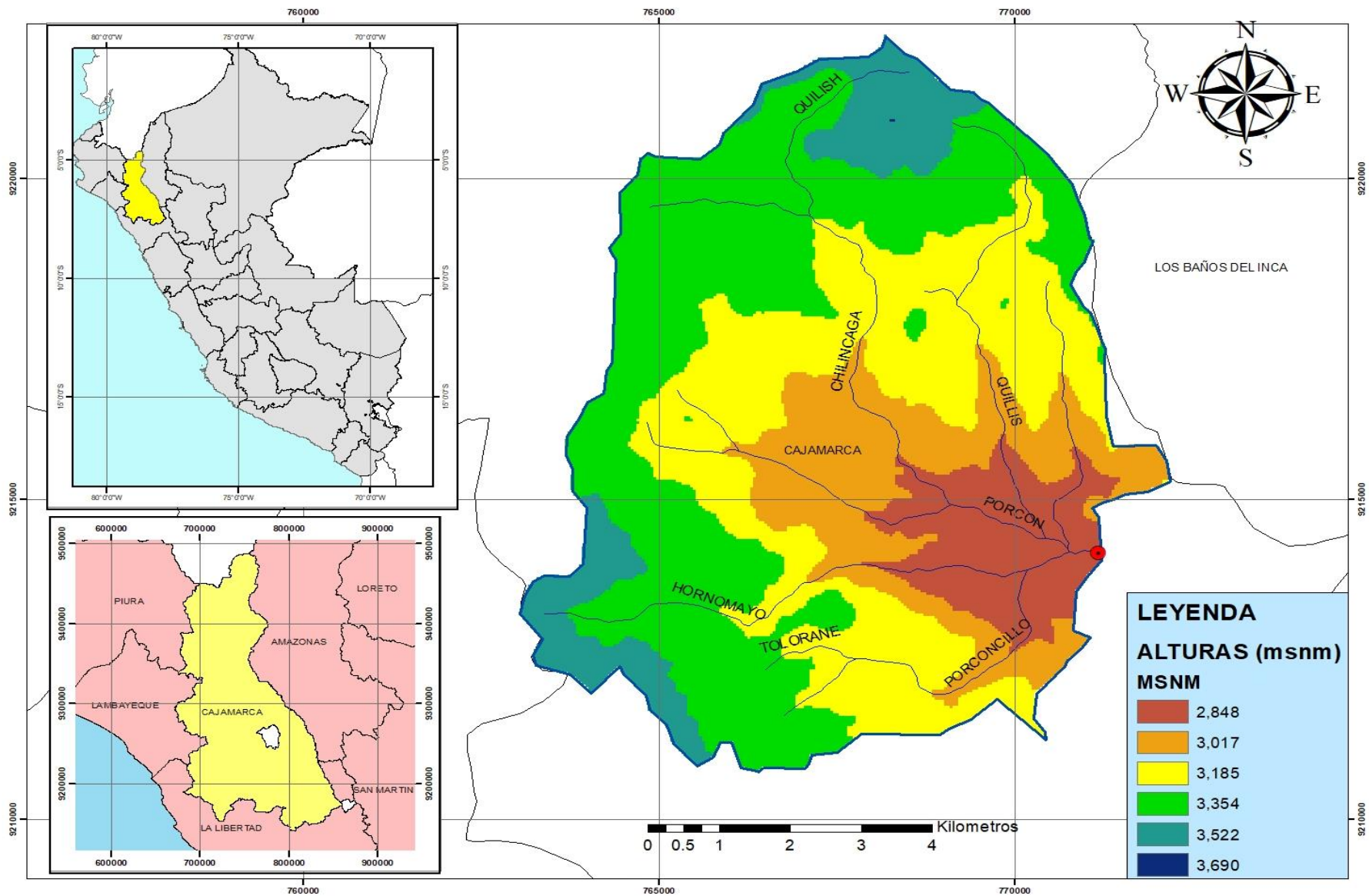
El punto de aforo se encuentra aguas arriba de la captación del Río Porcón.

Tabla 7: Coordenadas geográficas del punto de aforo

Este	771179.09
Norte	9214138.18
Cota (m.s.n.m)	2848.34

La investigación se realizó con la información hidrométrica y sedimentológica obtenida durante el año de monitoreo 2020.

Figura 16: Ubicación cuenca del río Porcón.



3.1.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA RÍO PORCÓN

La delimitación de la cuenca se realizó a través de las coordenadas tomadas en campo del punto de aforo del Río Porcón, desde el cual se incluyen el punto de aforo y trampa de sedimentos.

Se tomó la carta nacional 15f (IGN), procesando las imágenes ráster a través del software QGis.

El resultado de la delimitación se puede observar en la figura 16. Observando el curso del río Porcón, y el punto de aforo.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los parámetros geomorfológicos de la cuenca, después de realizar la delimitación.

Tabla 8: Resumen de los Cálculos Geomorfológicos de la cuenca Río Porcón.

PARÁMETROS			UND	CUENCA	
Superficie total de la cuenca			Km ²	68.800	
Perímetro			Km.	37.650	
UBICACIÓN	Zona de Proyección UTM		s/U	17	
	X		M	771179.09	
	Y		M	9214138.18	
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	1.280
		FACTOR DE FORMA	Longitud de la Cuenca	Km.	14.080
	Ancho Medio de la Cuenca		Km.	4.886	
	Factor de Forma		s/U	0.347	
	RECTANGULO EQUIVALENTE		Lado Mayor	Km.	14.080
			Lado Menor	Km.	4.886
	Desnivel total de la cuenca			Km.	1.010
Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	3395	
Pendiente cuenca (Met. Rectángulo Equivalente)			%	7.18%	
Pendiente Media de la Cuenca			%	16.13%	
Tiempo de Concentración Kirpich			min.	84.13	

Con la delimitación de la cuenca, se procedió a realizar el análisis geológico, geomorfológico y condiciones de suelo que posee dicha cuenca, con el fin de poder compatibilizar la información obtenida en campo a través de una trampa de sedimentos con la información que nos brinda el GEOCATMIN y la información geomorfológica que posee el GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA de toda nuestra región.

Figura 17: Geología cuenca del río Porcón

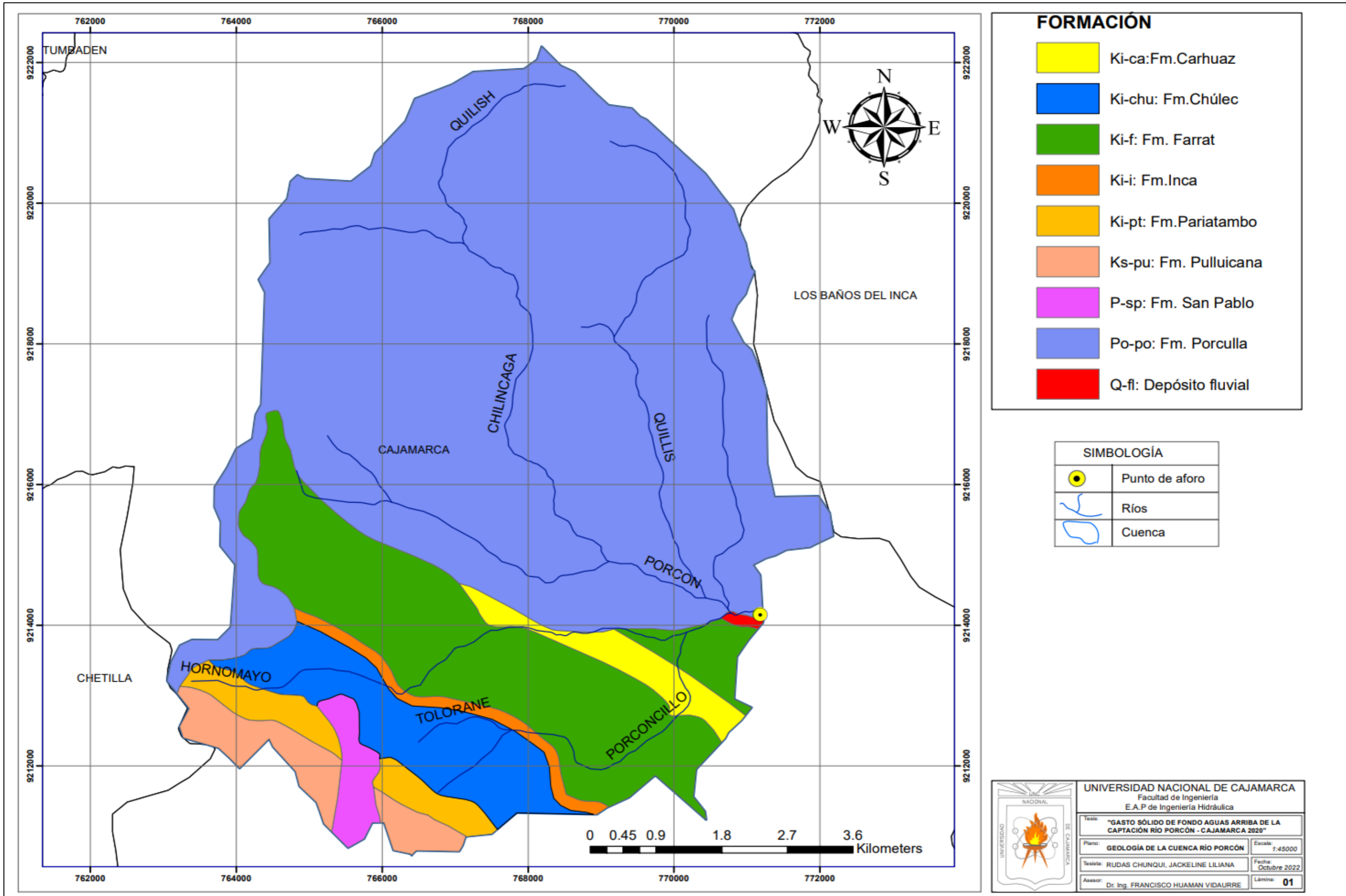
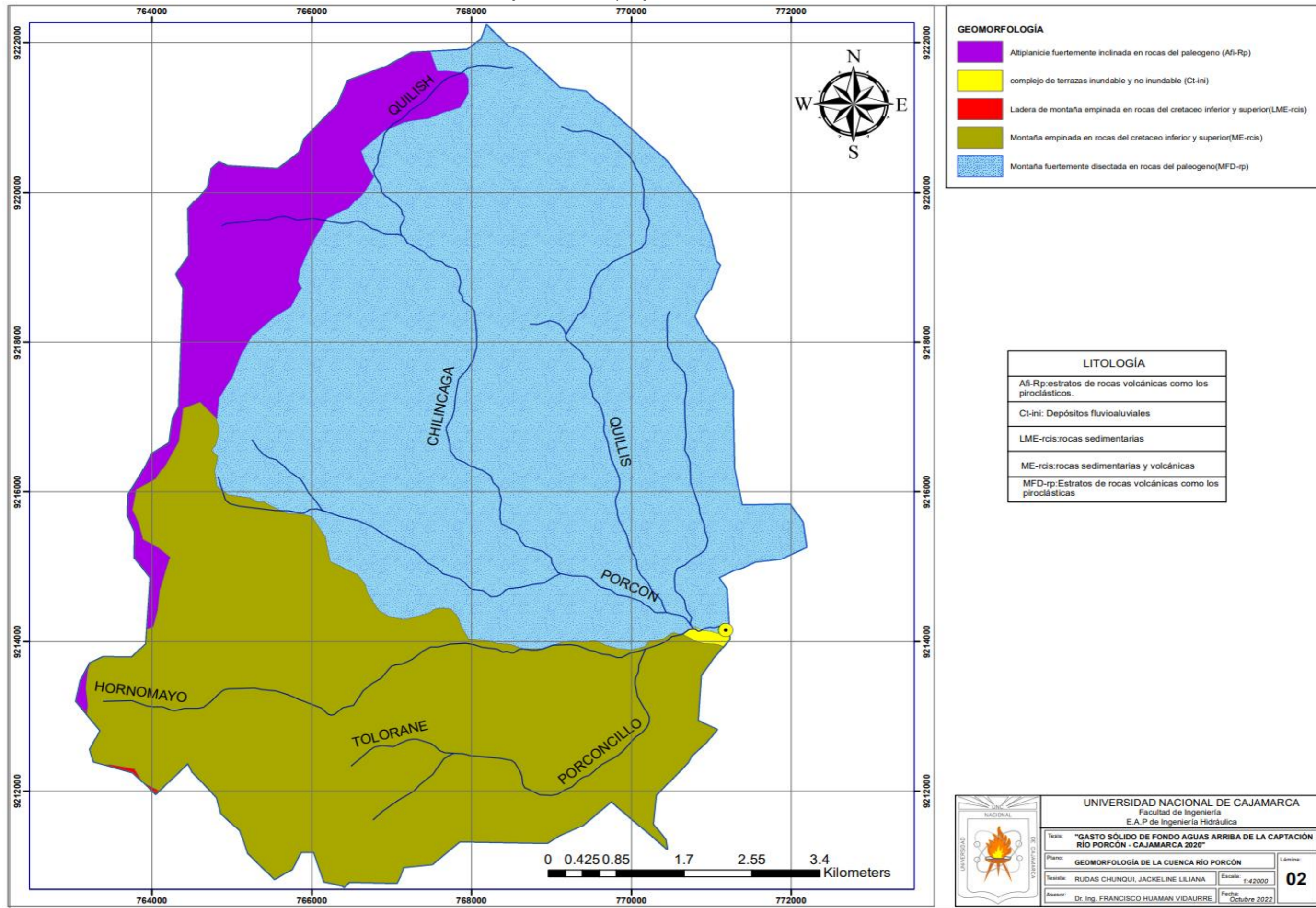


Figura 18: Geomorfología de la cuenca del río Porcón




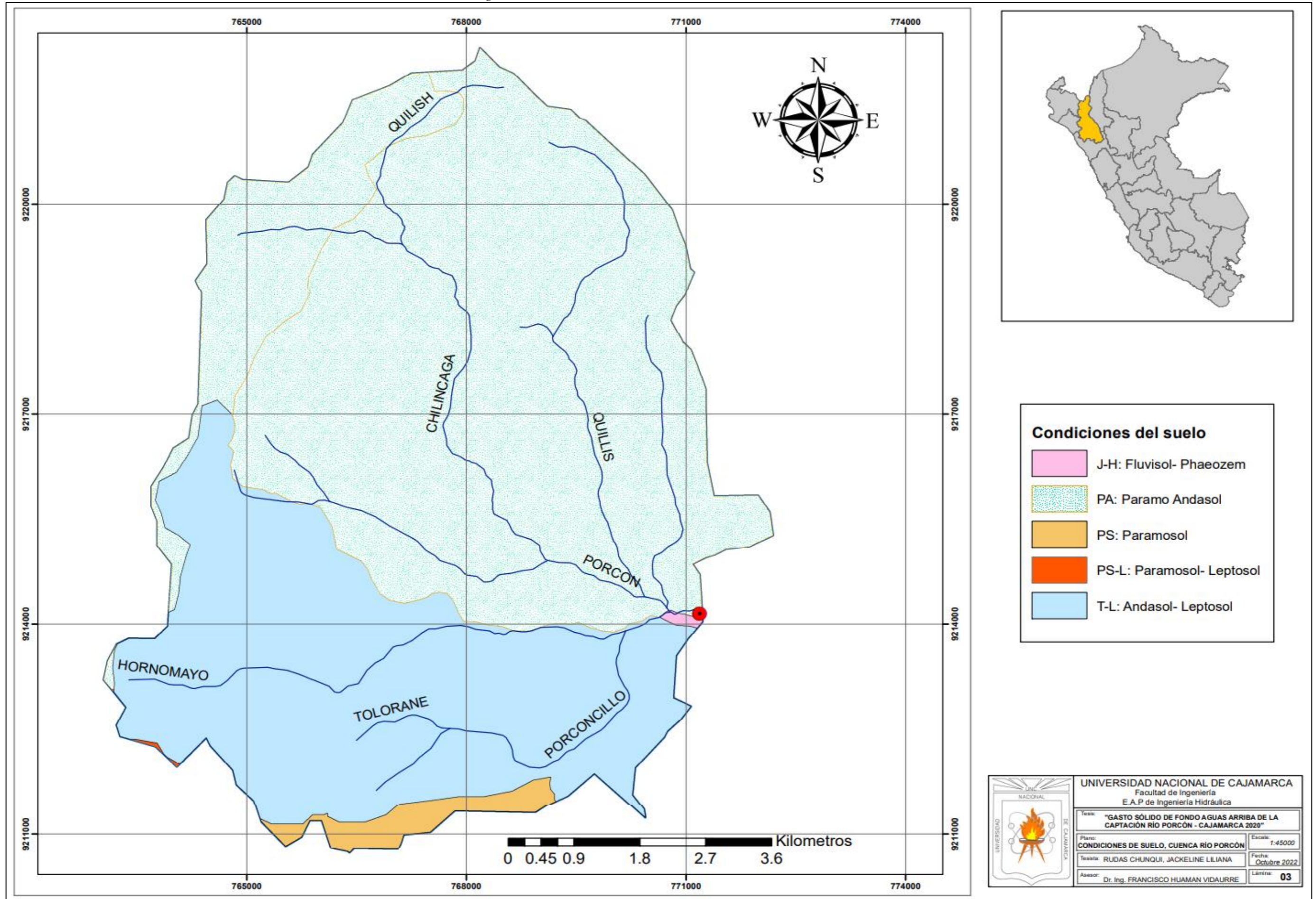
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería E.A.P de Ingeniería Hidráulica	
		Tema: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN - CAJAMARCA 2020"	
Plano: GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA RÍO PORCÓN		Lámina: 02	
Tesis: RUDAS CHUNQUI, JACKELINE LILIANA		Escala: 1:42000	
Asesor: Dr. Ing. FRANCISCO HUAMAN VIDAURRE		Fecha: Octubre 2022	

Figura 19: Condiciones de suelo de la cuenca del río Porcón



3.2 MATERIALES

3.2.1 MATERIALES DE CAMPO

- ✓ Velocímetro digital: Global wáter, modelo FP 111
- ✓ Traje especial para aforos
- ✓ Wincha de 10 m
- ✓ Estación total Leyca TS06
- ✓ Trípode
- ✓ Bastón y prisma topográfico
- ✓ Excavadora Komatsu PC300LC-8
- ✓ Cámara fotográfica SONY-HD
- ✓ Cables de acero galvanizado
- ✓ Poleas de seguridad
- ✓ sacos para muestras de material excavado
- ✓ palana

3.2.2 MATERIALES DE GABINETE

- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Registros de los aforos realizados durante los meses lluviosos.
- ✓ Mapa de la carta nacional Escala 1:100000 (IGN, 1986)
- ✓ Laptop ASUS CORE I7
- ✓ Balanza mecánica

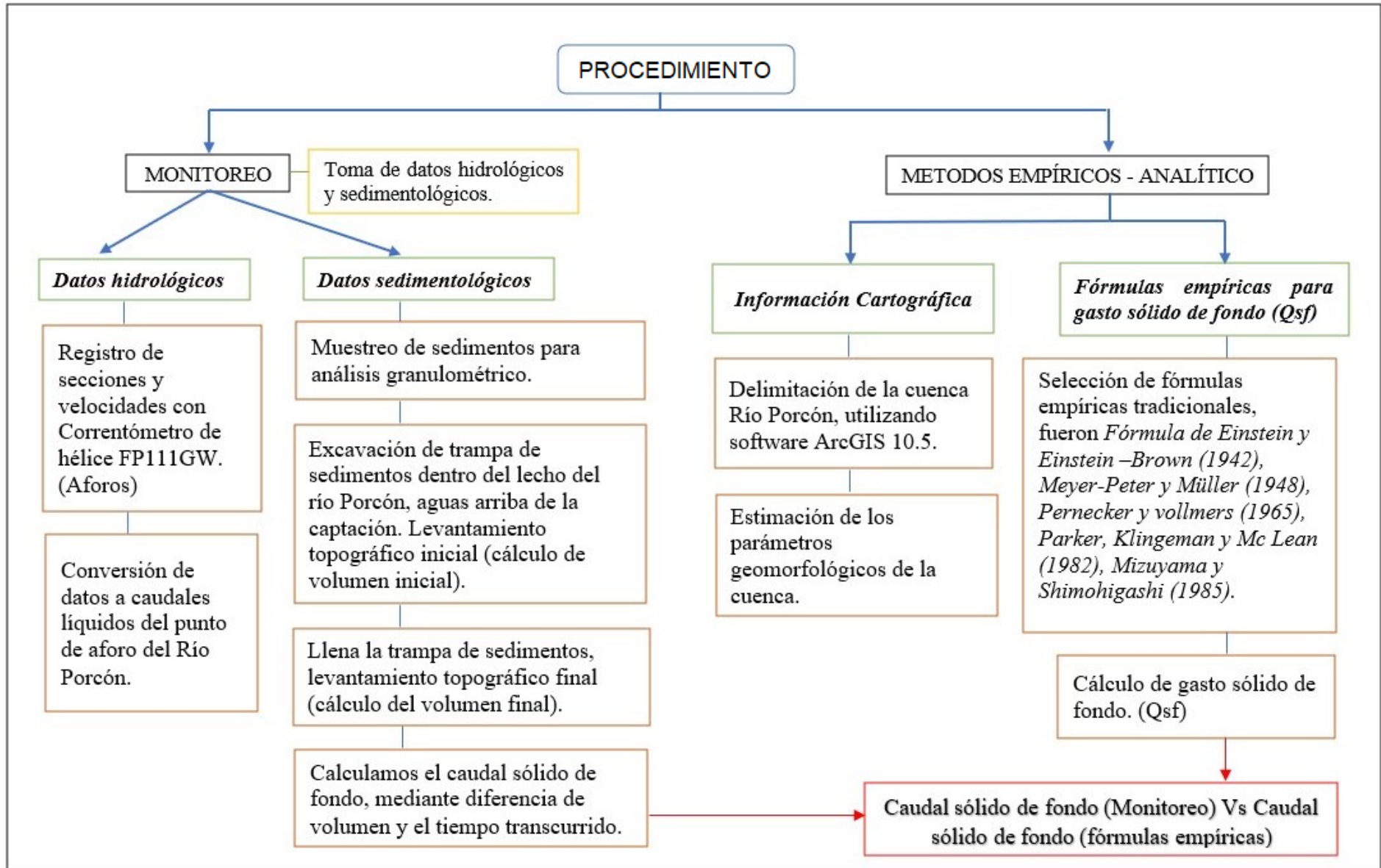
3.3 METODOLOGÍA

Se ha tomado en cuenta la siguiente secuencialidad en el presente estudio, para así poder determinar el gasto sólido de fondo del río Porcón – Cajamarca 2020, en la siguiente tabla se describe la metodología de esta investigación.

Tabla 9: Metodología de la investigación Gasto sólido de fondo del río Porcón.

METODOLOGÍA GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN – CAJAMARCA 2020	
TIPO DE INVESTIGACIÓN	<p>INVESTIGACIÓN APLICADA</p> <p>Porque se aplicaron conocimientos básicos para conocer el gasto sólido de fondo del río Porcón – Cajamarca 2020.</p>
NIVEL DE INVESTIGACIÓN	<p>DESCRIPTIVA</p> <p>Porque existe una creación de preguntas y hay un análisis de datos que se llevaran a cabo sobre el gasto sólido de fondo del río Porcón.</p>
TÉCNICAS PARA RECOGER INFORMACIÓN	<p>OBSERVACIÓN, MUESTREOS IN SITU, AFOROS, LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.</p> <p>Porque todas estas técnicas nos permiten encontrar datos que luego nos permiten conocer el gasto sólido de fondo.</p>
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	<p>CORRENTOMETRO CALIBRADO, ESTACION TOTAL CALIBRADA, GPS, WINCHA, BALANZA ROMANILLA.</p>
TÉCNICAS PARA PROCESAR INFORMACIÓN	<p>EXCEL, AUTOCAD, ARC GIS.</p> <p>Porque mediante estos programas podemos procesar la información de manera más exacta.</p>
POBLACIÓN	<p>CAUDAL Y SEDIMENTOS DEL RÍO PORCÓN.</p> <p>Porque se realizó la delimitación total de la cuenca, para conocer parámetros geomorfológicos que influyen en la muestra.</p>
MUESTRA	<p>TRAMO DE 323 M DEL RÍO PORCÓN (271.38m aguas arriba y 51.62m aguas debajo de la captación Río Porcón).</p> <p>Porque el estudio se realizó en este tramo.</p>
DISEÑO	<p>NO EXPERIMENTAL</p> <p>Porque se observó los fenómenos tal cual como son en su contexto natural.</p>

Figura 20: Cuadro resumen procedimiento de trabajo en el río Porcón.



3.3.1 VISITAS DE CAMPO

- ✓ Visita a campo para reconocer el área de estudio, forma del río aguas arriba de la captación Río Porcón y aguas abajo.
- ✓ Reconocimiento de piedras dentro del río, las cuales estarán marcadas con un tipo de letra, de estas medimos los diámetros importantes, además de sus coordenadas iniciales pasado un tiempo volveremos a medir sus coordenadas para observar si presenta algún desplazamiento. (ver figura 22 – Anexo 1)
- ✓ Mediante la observación fijamos un área recta dentro del río, en el cual se establecerá nuestro punto de aforo, 50 m aguas arriba de la captación río Porcón. (ver figura N°23-Anexo 1)

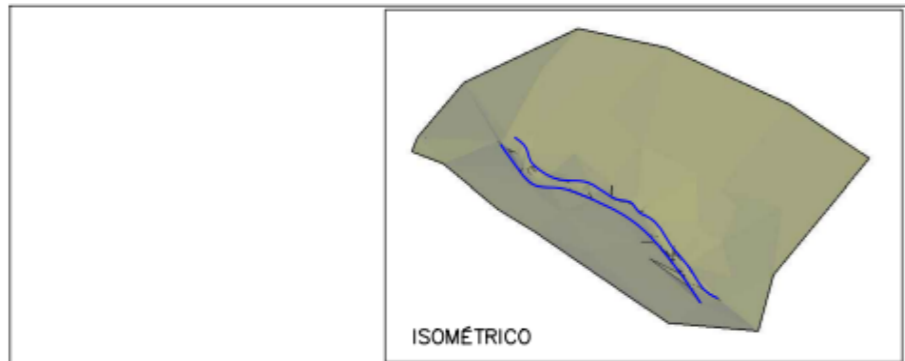
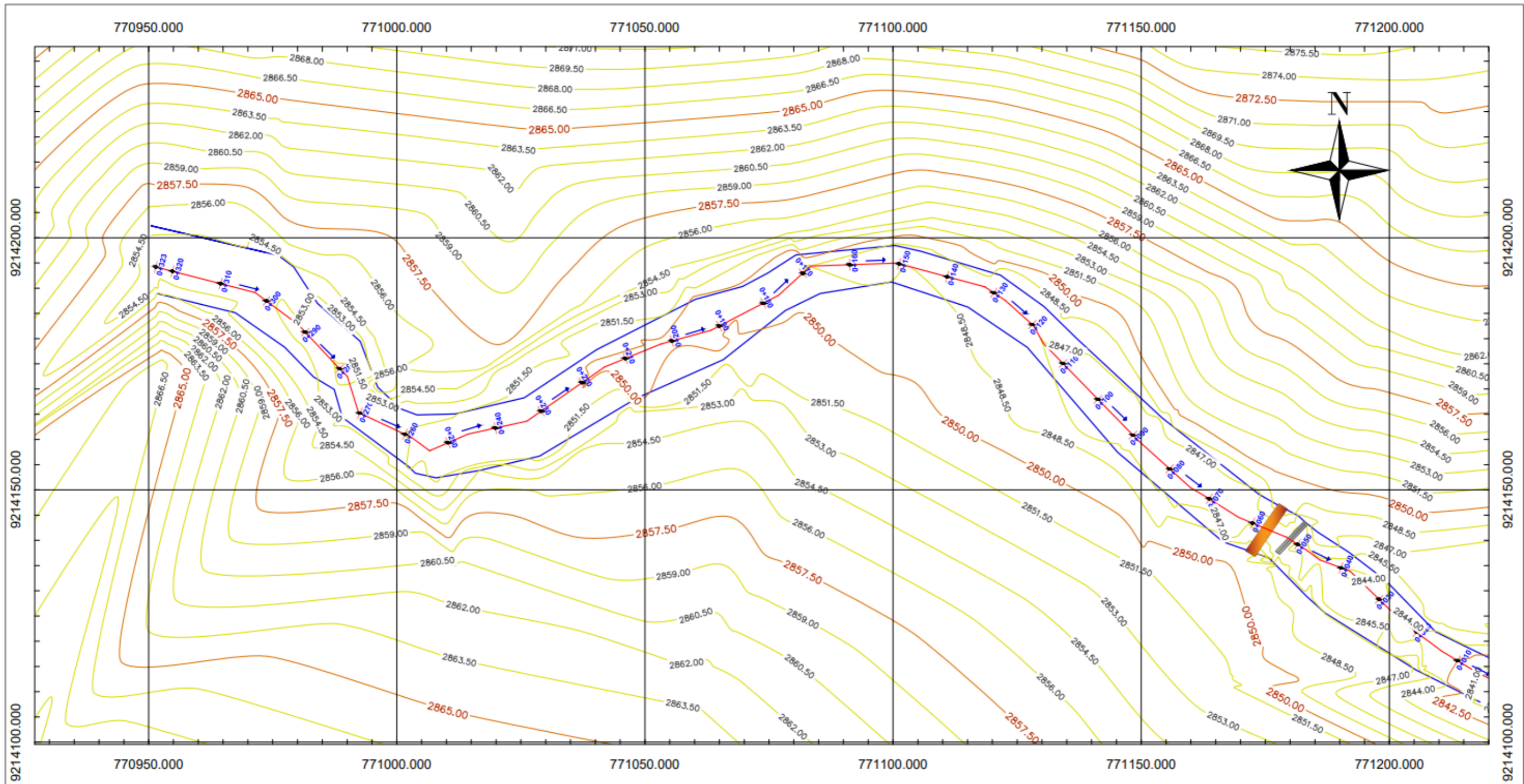
3.3.2 MORFOLOGÍA DEL RÍO

- ✓ *Levantamiento topográfico del río Porcón.*

Se realizó el levantamiento topográfico, aguas arriba y aguas debajo de la captación Río Porcón, un tramo que hace un total de 323 m. Mediante este levantamiento podemos calcular la pendiente del tramo en estudio y el ancho del cauce, datos que se utilizaran en las fórmulas del gasto sólido de fondo. Para dicho levantamiento se utilizó una estación total Leyca TS06, juntamente con sus instrumentos de medición (prisma, wincha, GPS). En la figura 21, se muestra el resultado del levantamiento topográfico.

En la figura 22, se muestra el perfil longitudinal del río Porcón. Teniendo en cuenta el levantamiento topográfico mostrado en la figura N° 21 las progresivas del alineamiento están cada 10 m en planta, mientras que las elevaciones son cada 1 m, este perfil longitudinal nos permite determinar la pendiente longitudinal de fondo del cauce en su tramo de estudio.

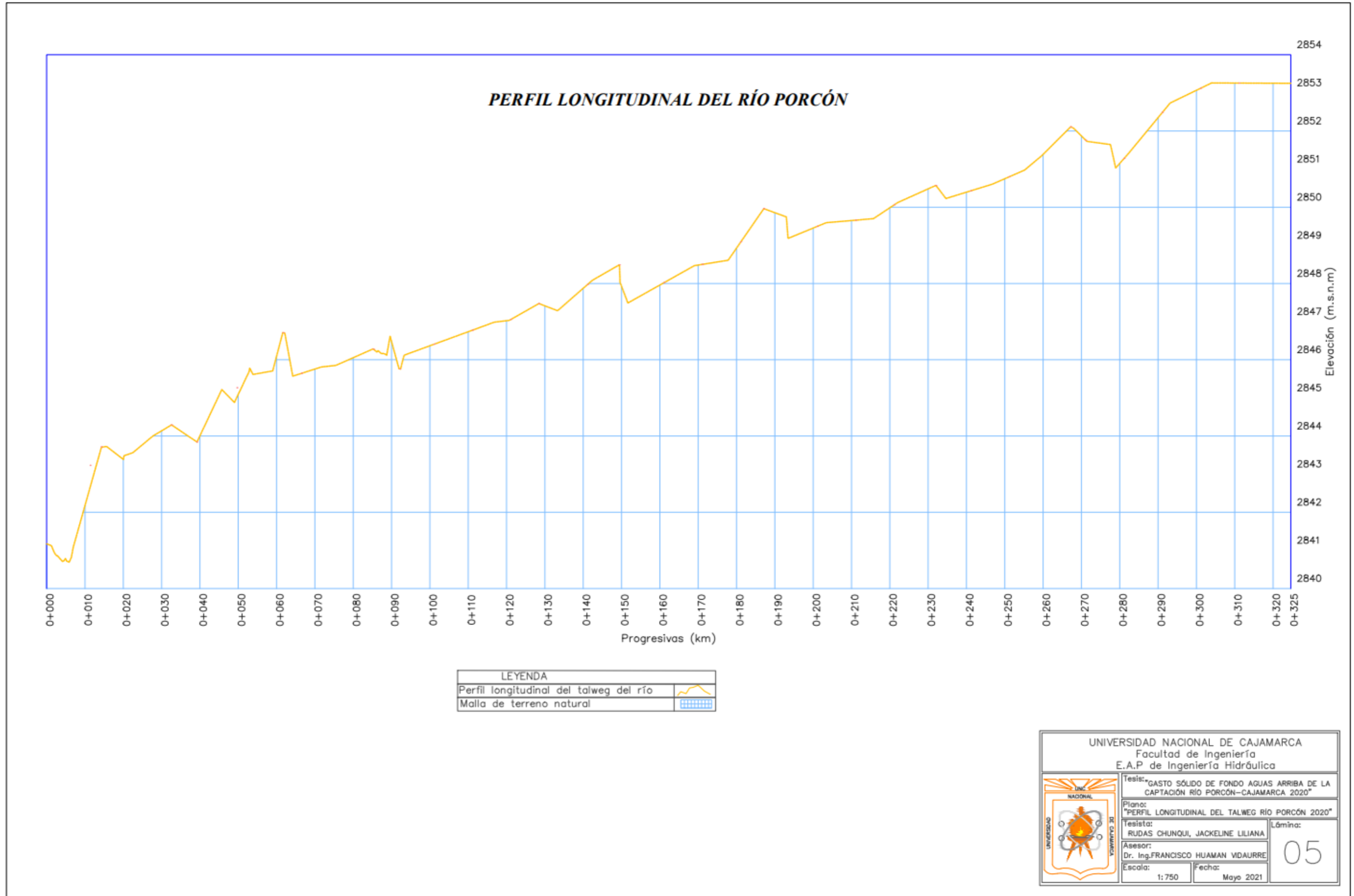
Figura 21: Vista en planta de la sección del río Porcón.



LEYENDA	
Captación	
Alineamiento	
Riberas de Río	
Curvas Mayores	
Curvas Menores	
Puente peatonal	
Progresivas cada 10 m	
Sentido del flujo	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería E.A.P de Ingeniería Hidráulica	
Tesis: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN-CAJAMARCA 2020"	
Plano: "TOPOGRAFIA DE LA SECCIÓN DEL RÍO PORCÓN 2020"	
Tesisista: RUDAS CHUNQUI, JACKELINE LILIANA	
Asesor: Dr. Ing. FRANCISCO HUAMAN VIDAURRE	
Escala: 1:750	Fecha: Mayo 2021
Lámina: 04	

Figura 22: Perfil longitudinal del río Porcón.



✓ **Ancho promedio del cauce del río Porcón.**

Mediante el levantamiento topográfico del río Porcón, se logró armar una superficie en AUTOCAD CIVIL 3D, mediante la cual se realizó perfiles transversales para así conocer el ancho promedio del río en cada progresiva, obteniéndose un resultado de 9.2 m.

Tabla 10: Ancho del río Porcón medido en cada progresiva

PROGRESIVA	ANCHO RIO (m)	PROGRESIVA	ANCHO RIO (m)
0+10	8.6	0+160	6.32
0+20	6.49	0+170	9.58
0+30	10.57	0+180	8.27
0+40	12.66	0+190	10.97
0+50	10.51	0+200	9.73
0+60	10.23	0+210	10.46
0+70	8.2	0+220	3.27
0+80	6.04	0+230	6.09
0+90	9.67	0+240	12.04
0+100	7.46	0+250	12.98
0+110	7.78	0+260	11.44
0+120	7.55	0+270	7.98
0+130	7.89	0+280	12.83
0+140	6.37	0+290	11.03
0+150	7.34	0+300	14.23

✓ **Pendiente promedio del fondo del cauce.**

Pendiente por el Método de Taylor y Schwarz: Ingresando los datos por intervalos, podemos obtener el valor de la pendiente.

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2$$

Se trabaja solo con pendientes reales, es decir positivas, el resultado que se obtuvo mediante esta fórmula fue de 3.416%. (ver anexo 2 tabla 32)

Tabla 11: Resultados de cálculo de la pendiente del río Porcón.

Método	Valor de pendiente
Método de Taylor y Schwarz	3.42%

✓ GRANULOMETRIA DEL RÍO PORCÓN

Excavación de trampa de sedimentos aguas arriba de la captación Río Porcón.

- Se realizó una visita de campo, para reconocer el lugar más adecuado para realizar la trampa de sedimentos aguas arriba, puesto que no debía estar muy cerca de la captación por temas de seguridad a la infraestructura de Sedacaj, pero a la vez no debía afectar a más de un propietario, el sr. Candelario fue el único propietario afectado, puesto que la excavadora ingreso por su predio.
- Se utilizó una excavadora Komatsu PC300LC-8, para realizar la trampa de sedimentos aguas arriba de la captación río Porcón, el trabajo se realizó en 2 horas de trabajo máquina.

Extracción de sedimentos aguas abajo de la captación Río Porcón.

- Se aprovecho que la EPS SEDACAJ, estaba realizando trabajos de limpieza al lecho del río puesto que unos gaviones que habían sido colocados a manera de protección habían colapsado y estaba dificultando el paso del agua, fue entonces que contrataron una excavadora para cumplir dicha función.
- Se utilizó la misma máquina excavadora Komatsu PC300LC-8, indicándole al operador que extrajese cierto material aguas abajo de la captación río Porcón, en función al diámetro máximo observado.

Muestreo de sedimentos sacados de la trampa de sedimentos aguas arriba de la captación río Porcón, mediante el método subsuperficial.

$$P = D_{\text{máx}} * 10$$

Donde:

P: Peso a extraer en (Kg.)

$D_{\text{máx}}$: Diámetro máximo observado (cm)

Se realizaron tres calicatas, cuya ubicación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12: Puntos de muestreo en el río Porcón.

Muestra		C-1	C-2	C-3
Ubicación de calicata		30 m aguas arriba de captación río Porcón.	captación río Porcón.	50 m aguas debajo de captación río Porcón.
Coordenadas	Este	771145.5	771185.7	771224.71
	Norte	9214167.57	9214139.34	9214112.32
Fecha		2/01/2020	2/01/2020	2/01/2020
$D_{\text{máx}}$ (cm)		30.8	4.8	21
peso de la muestra in situ (kg)		308	48	210

Muestreo del material superficial, La roca más grande en el terreno en el primer punto de muestreo es de 30.8 cm, mientras que en el punto de muestreo tres la roca más grande es de 21 cm, para este tipo de rocas se realizó el muestreo de material por el método fotográfico (RAMÍREZ, C. 2011), debido a la dificultad de su traslado hacia el laboratorio de suelos. Los diámetros mayores a 3” por medida y peso se encuentran en el anexo 2, tabla 33.

Figura 23: Material superficial de calicatas aguas arriba y abajo de captación Río Porcón.



Análisis granulométrico de muestras de sedimentos subsuperficial.

Se realizó el tamizado por norma técnica A.A.S.H.T.O. T88, en la empresa GUERSAN INGENIEROS SRL.

A laboratorio se llevó un peso total de 369 kilogramos en total, en 12 sacos cada saco identificado según la calicata a la que corresponde. (ver Anexo 1, figura 31)

Se realizaron tres puntos de muestreo, pero solo se consideraron dos, puesto que el punto de muestreo de la calicata 2 está ubicado en la misma captación Río Porcón, su material solo es arena, no contiene ni cantos ni rodados, además que cada cierto periodo de tiempo se le brinda mantenimiento a la captación, lo cual es un material ya adulterado. Por lo tanto, se obtuvieron dos curvas granulométricas desde los cantos y rodados hasta las arenas, el rango establecido es desde 10”, 8”, 6”, 4”, 3 ½”, 3”, 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 1/2”, 3/8”, ¼”, N° 4, N° 8, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100, finalmente se realizó una curva granulométrica promedio para obtener los valores del presente estudio.

Gráfico 1 curva granulométrica del lecho de material del río Porcón.

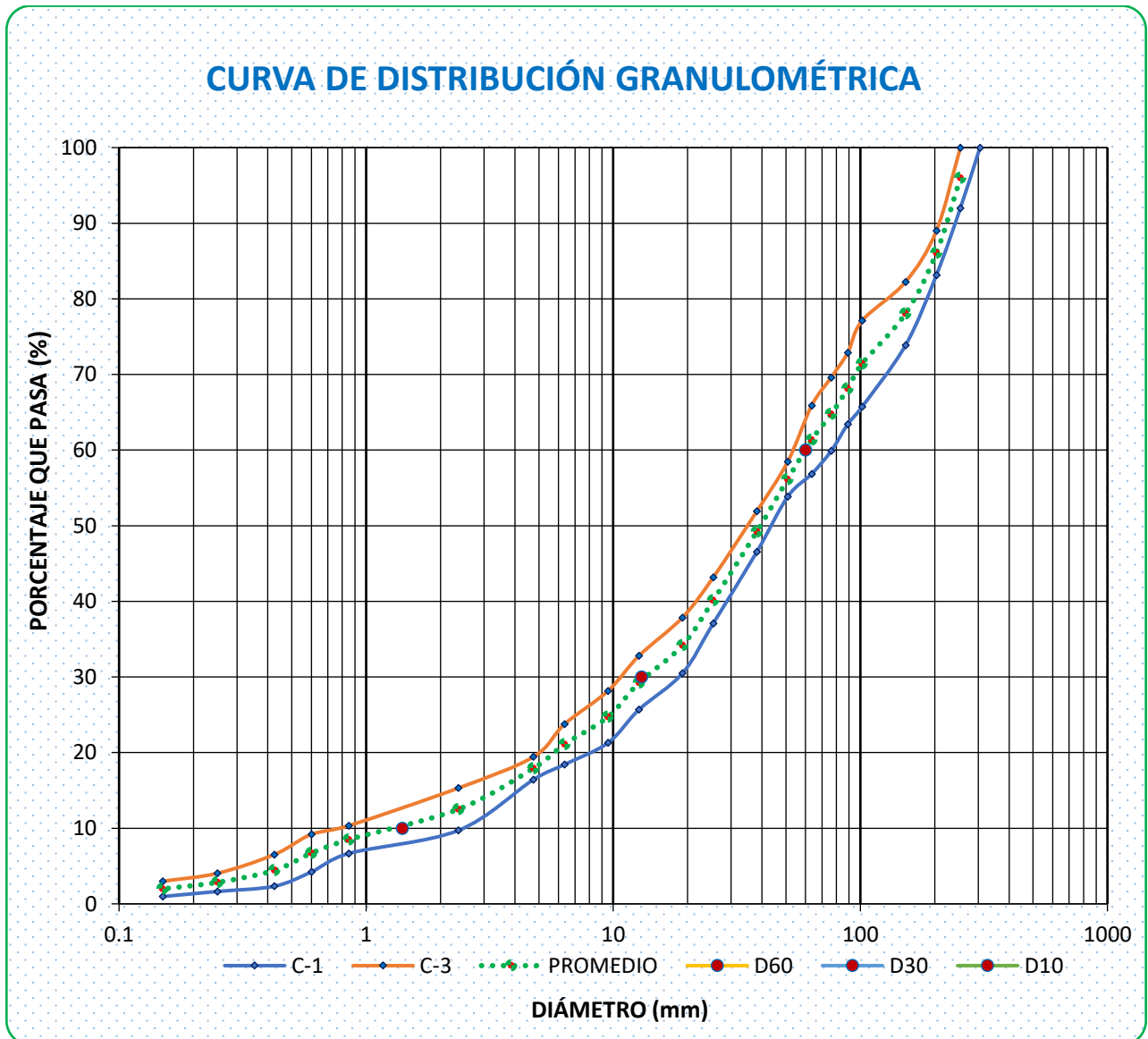


Tabla 13: Diámetros característicos de la curva granulométrica.

DIAMETROS EFECTIVOS		COEFICIENTES	
D60 =	60	Cu =	42.86
D30=	13	Cc =	2.01
D10 =	1.4		

Gráfico 2: peso retenido de material muestreado.

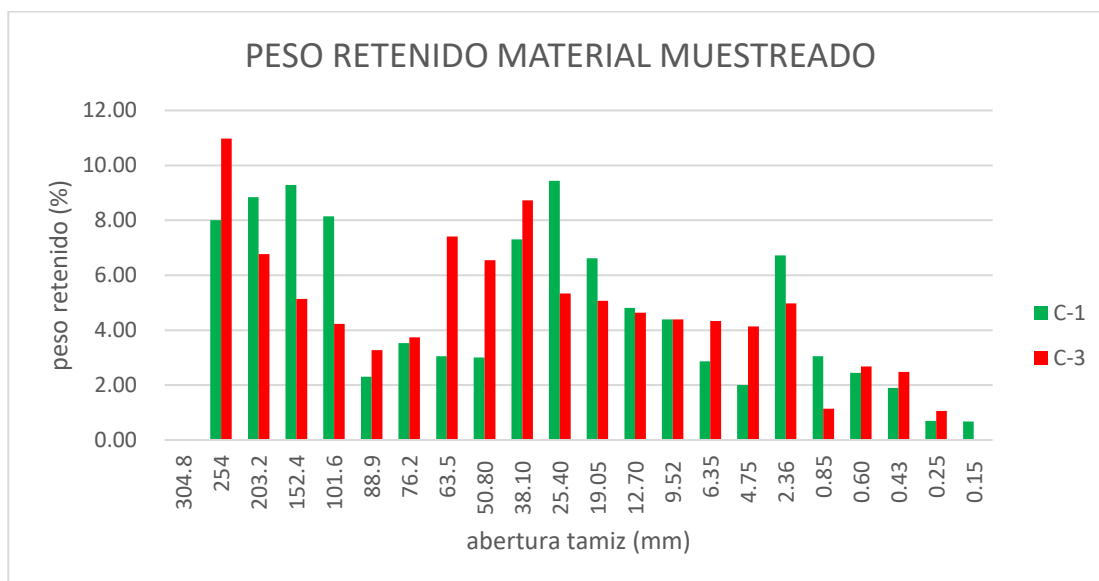


Tabla 14: Porcentaje de materiales del lecho del río Porcón.

PORCENTAJE DE CANTOS Y RODADOS, GRAVA, ARENAS Y FINOS	
CANTOS Y RODADOS (%)	31.85
GRAVA (%):	50.22
ARENA GRUESA (%):	13.51
ARENA FINA (%):	2.45
FINOS (%):	1.98

Los diámetros característicos son:

$$D_{10} = 1.4 \text{ mm} \approx 0.0014 \text{ m}$$

$$D_{30} = 13 \text{ mm} \approx 0.013 \text{ m}$$

$$D_{50} = 40 \text{ mm} \approx 0.040 \text{ m}$$

$$D_{60} = 60 \text{ mm} \approx 0.060 \text{ m}$$

$$D_{90} = 224 \text{ mm} \approx 0.224 \text{ m}$$

$$D_m = 67.3 \text{ mm} \approx 0.067 \text{ m}$$

Densidad y peso específico

La densidad y peso específico es la relación de masa del material muestreado y el volumen que ocupa dicha muestra. Dicho ensayo se realizó con la norma ASTM C 127 /MTC E 204 /NTP 400.021

Los resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15: Densidad relativa o peso específico de la muestra promedio.

MUESTRA	PESO ESPECIFICO DE MASA (kg/m3)
M-1	2621.92
M-2	2623.46
M-3	2623.59
PROMEDIO	2622.99

Fuente: Laboratorio GUERSAN.

Densidad aparente de los sedimentos (ρ_a) Este ensayo se desarrolló en el cauce del río Porcón mediante una pequeña calicata, se extrajo todo el material que ocupa en la calicata y posteriormente dicha muestra fue llevada al laboratorio para realizar secado en el horno a 105 °C, para obtener el peso seco y aplicamos la fórmula N°12. (ver anexo 1, figura 35)

Tabla 16: Densidad aparente de los sedimentos.

Muestra	Peso in situ (Kg)	Volumen in situ (m3)	Peso seco (kg)	Densidad aparente (kg/m3)	Densidad aparente promedio (kg/m3)
M1	21	0.008	18	2250	2156.25
M3	19	0.008	16.5	2062.5	

Fuente: Elaboración propia.

Porosidad (η)

Conociendo densidad aparente y densidad relativa de sólidos, se calculó mediante la fórmula N° 13.

Tabla 17: Porosidad del material del río Porcón.

Porosidad	
η	0.18

Densidad relativa de la partícula dentro del agua (Δ): Mediante la fórmula N° 14 se obtuvo la densidad relativa de la partícula.

Tabla 18: Densidad relativa de la partícula dentro del río Porcón.

Densidad relativa de la partícula	
Δ	1.62

Coefficiente de rugosidad o de Manning: Calculado mediante el método de Strickler, fórmula N°15.

Tabla 19: Coeficiente de rugosidad para el río Porcón.

coeficiente de rugosidad	
n=	0.024

Rugosidad del cauce debido a las partículas en un fondo plano (n'): Mediante la fórmula N° 16, se obtiene el siguiente resultado.

Tabla 20: Rugosidad del cauce para río Porcón.

<i>Rugosidad del cauce en un fondo plano</i>	
n´=	0.02997

3.3.3 CAUDALES DEL RÍO Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS

- Medición de los caudales en la sección de aforo, que está ubicada 50 m aguas arriba de la captación río Porcón con correntómetro de hélice FP111GW. Realizados diariamente, durante los meses lluviosos de febrero, marzo y abril del 2020.
- Cálculo de los caudales aforados en los meses de febrero, marzo y abril del 2020, el cálculo se realiza mediante la fórmula N°32. Ver tabla 21

Tabla 21: Caudales de aforo río Porcón aguas arriba de la captación.

FECHA	ÁREA (m ²)	velocidad media (m/s)	caudal (m ³ /s)
16/02/2020	1.27	0.45	0.82
26/02/2020	0.94	0.38	0.46
28/02/2020	1.10	0.31	0.41
1/03/2020	1.50	0.58	0.87
2/03/2020	1.64	0.59	1.09
3/03/2020	1.81	0.57	1.26
4/03/2020	1.43	0.53	0.97
5/03/2020	1.40	0.66	1.14
6/03/2020	1.30	0.63	0.98
7/03/2020	1.36	0.64	1.04
8/03/2020	1.40	0.84	1.34
9/03/2020	1.49	0.83	1.37
10/03/2020	1.57	0.93	1.63
11/03/2020	2.03	1.07	2.42
12/03/2020	1.60	0.86	1.62
13/03/2020	2.01	0.99	2.17
14/03/2020	1.95	0.96	2.06
15/03/2020	1.80	0.91	1.83
16/03/2020	1.79	0.91	1.83
17/03/2020	1.92	0.85	1.77
18/03/2020	1.67	0.82	1.57
19/03/2020	1.59	0.82	1.49
28/03/2020	1.47	0.66	1.13
29/03/2020	1.42	0.66	1.11
31/03/2020	1.31	0.65	0.96
1/04/2020	1.99	0.59	1.25
2/04/2020	2.07	0.85	2.10
4/04/2020	1.73	0.82	1.67
6/04/2020	1.74	0.64	1.45

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, se sabe que el área promedio es 1.60 m^2 .

Caudal dominante o formativo del Cauce.

Se aplicó la fórmula N° 18, además se consideró el área promedio como el área del cauce con caudal dominante.

$$A=1.60 \text{ m}^2 \approx 17.22 \text{ pie}^2$$

$$S=0.0342 \text{ pie/pie.}$$

$$Q=48.66 \text{ pie}^3/\text{s}$$

Tabla 22: Caudal dominante o formativo del Río Porcón.

Caudal dominante	
Q (m^3/s)	1.38

A partir de un caudal mayor o igual a $1.38 \text{ (m}^3/\text{s)}$, se puede afirmar que hay transporte de sedimentos.

También se muestran en la siguiente tabla los parámetros de sección para cada caudal aforado.

Tabla 23: Parámetros hidráulicos para cada caudal mayor al caudal dominante, en la estación de aforo.

FECHA	Caudal (m^3/s)	Perímetro mojado (m)	Ancho medio (m)	Radio Hidráulico (m)	coeficiente de rugosidad de Manning "n"	Tirante medio (m)
10/03/2020	1.63	7.66	7.46	0.21	0.06	0.21
11/03/2020	2.42	7.77	7.46	0.26	0.06	0.27
12/03/2020	1.62	7.68	7.46	0.21	0.06	0.21
13/03/2020	2.17	7.78	7.46	0.26	0.07	0.26
14/03/2020	2.06	7.76	7.46	0.25	0.07	0.26
15/03/2020	1.83	7.74	7.46	0.23	0.07	0.24
16/03/2020	1.83	7.75	7.46	0.23	0.07	0.24
17/03/2020	1.77	7.77	7.46	0.25	0.08	0.25
18/03/2020	1.57	7.72	7.46	0.22	0.07	0.22
19/03/2020	1.49	7.72	7.46	0.21	0.07	0.21
02/04/2020	2.10	7.78	7.46	0.27	0.08	0.27
04/04/2020	1.67	7.73	7.46	0.22	0.07	0.23
06/04/2020	1.45	7.76	7.46	0.22	0.08	0.23

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 GASTO SÓLIDO DE FONDO DEL RÍO PORCÓN

Se estimó el gasto sólido de fondo del río Porcón, en los meses de febrero, marzo y abril de 2020, mediante aplicación de las fórmulas propuestas por Meyer-Peter y Müller, Einstein y Einstein –Brown, Parker, Klingeman y Mc Lean, Pernecker y vollmers, Mizuyama y Shimohigashi.

Para determinar el gasto sólido de fondo, se requieren una serie de datos, los adquiridos en campo son el área y velocidad mediante los aforos, la topografía del río Porcón para obtener secciones, la granulometría que nos proporciona información muy importante para la aplicación de las fórmulas enunciadas, los datos adquiridos en gabinete son perímetro mojado, tirante medio, coeficiente de rugosidad de Manning “n” y radio hidráulico a partir de la información en campo. Ver la tabla 24.

Las características para la sección de aforo aguas arriba de la captación río Porcón, teniendo en cuenta el caudal aforado inmediato superior al caudal dominante se tiene:

Tabla 24: Datos de sección obtenidos para el caudal dominante.

Caudal (m ³ /s)	Perímetro mojado (m)	Ancho medio (m)	Radio Hidráulico (m)	coeficiente de rugosidad de Manning "n"	Tirante medio (m)
1.45	7.76	7.46	0.22	0.08	0.23

Fórmula de Meyer-Peter y Müller:

$$g_B = 8(2622.99)(9.81 * 1.62 * 0.067^3)^{1/2} \left[\left(\frac{0.029}{0.024} \right)^{3/2} \frac{0.22 * 0.0342}{1.62 * 0.067} - 0.047 \right]^{3/2}$$

$$g_B = 17 \frac{kg}{m * s} * 7.46 m$$

$$G_B = 126.82 \frac{kg}{s}$$

Fórmula de Einstein y Einstein –Brown

$$\tau_* = \frac{0.22 * 0.0342}{1.62 * 0.040}$$

$$\tau_* = 0.12$$

$$0.045 \leq \tau_* \leq 0.19$$

Como cumple con la primera restricción se aplica la fórmula N°20

Primero calculamos F_1 , según la fórmula N° 23

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36(0.000001)^2}{9.81 * 1.62 * 0.040^3}} - \sqrt{\frac{36(0.000001)^2}{9.81 * 1.62 * 0.040^3}}$$

$$F_1 = 0.816$$

$$g_B = 2.151(0.816)(2622.99)\sqrt{9.81 * 1.62 * 0.040^3}e^{-0.391/0.12}$$

$$g_B = 5.40 \frac{kg}{m * s} * 7.46 m$$

$$G_B = 40.25 \frac{kg}{s}$$

Fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean:

$$\tau_{50}^* = \frac{0.606 * 0.22 * 0.0342}{0.040}$$

$$\tau_{50}^* = 0.12$$

$$\phi_{50} = \frac{0.1139}{0.0876} = 1.33$$

Para $0.95 < \phi_{50} < 1.65$

$$W^* = 0.025e^{[14.2(1.3-1) - 9.28(1.3-1)^2]}$$

$$W^* = 0.9570$$

$$g_B = 1400 \left(\frac{0.9570 * 9.81^{1/2} (0.23 * 0.0342)^{3/2}}{2.65} \right)$$

$$g_B = 1.095 \frac{kg}{sm} * 7.46 m$$

$$G_B = 8.17 \frac{kg}{s}$$

Fórmula de Pernecker y vollmers

$$g_B = 25 * 2622.99(9.81 * 1.62 * 0.067^3)^{1/2} * 0.12^{3/2} * (0.12 - 0.04)$$

$$g_B = 14.46 \frac{kg}{ms} * 7.46 m$$

$$G_B = 107.87 \frac{kg}{s}$$

Fórmula de Mizuyama y Shimohigashi:

$$g_B = 20 * 7.46 * \frac{0.0342^2}{1.62^2} \frac{\left(\frac{1.45}{7.46}\right)}{\sqrt{9.81 * 1.62 * 0.040^3}}$$

$$g_B = 0.40 kg/s$$

Tabla 25: Resultados del gasto sólido de fondo en kg/s del río Porcón, para los aforos realizados en los meses febrero, marzo y abril de 2020 mayores o iguales al caudal dominante.

FECHA	Caudal (m ³ /s)	Meyer - Peter y Müller (kg/s)	Einstein y Einstein – Brown (kg/s)	Parker, Klingeman y Mc Lean (kg/s)	Pernecker y vollmers (kg/s)	Mizuyama y Shimohigashi (kg/s)
10/03/2020	1.63	97.39	29.68	2.50	82.44	0.46
11/03/2020	2.42	191.98	64.52	40.37	170.12	0.68
12/03/2020	1.62	101.95	31.29	3.09	86.26	0.45
13/03/2020	2.17	185.36	62.04	35.70	163.44	0.61
14/03/2020	2.06	172.72	57.30	27.99	150.89	0.58
15/03/2020	1.83	140.72	45.37	12.68	120.47	0.51
16/03/2020	1.83	137.77	44.28	11.59	117.76	0.51
17/03/2020	1.77	164.95	54.39	23.76	143.33	0.50
18/03/2020	1.57	114.87	35.91	5.29	97.33	0.44
19/03/2020	1.49	98.52	30.08	2.69	83.38	0.42
02/04/2020	2.10	200.06	67.56	44.87	178.39	0.59
04/04/2020	1.67	126.38	40.09	8.02	107.47	0.47
06/04/2020	1.45	126.82	40.25	8.17	107.87	0.40

Mediante la fórmula N° 31, podemos obtener el caudal o gasto sólido de fondo en (m³/s).

Tabla 26: Resultados del gasto sólido de fondo en (m³/s) del río Porcón, para los aforos realizados en los meses febrero, marzo y abril de 2020 mayores o iguales al caudal dominante.

FECHA	Caudal (m ³ /s)	Meyer - Peter y Müller (m ³ /s)	Einstein y Einstein – Brown (m ³ /s)	Parker, Klingeman y Mc Lean (m ³ /s)	Pernecker y vollmers (m ³ /s)	Mizuyama y Shimohigashi (m ³ /s)
10/03/2020	1.63	0.037	0.011	0.001	0.031	0.00017
11/03/2020	2.42	0.073	0.025	0.015	0.065	0.00026
12/03/2020	1.62	0.039	0.012	0.001	0.033	0.00017
13/03/2020	2.17	0.071	0.024	0.014	0.062	0.00023
14/03/2020	2.06	0.066	0.022	0.011	0.058	0.00022
15/03/2020	1.83	0.054	0.017	0.005	0.046	0.00019
16/03/2020	1.83	0.053	0.017	0.004	0.045	0.00020
17/03/2020	1.77	0.063	0.021	0.009	0.055	0.00019
18/03/2020	1.57	0.044	0.014	0.002	0.037	0.00017
19/03/2020	1.49	0.038	0.011	0.001	0.032	0.00016
02/04/2020	2.10	0.076	0.026	0.017	0.068	0.00022
04/04/2020	1.67	0.048	0.015	0.003	0.041	0.00018
06/04/2020	1.45	0.048	0.015	0.003	0.041	0.00015

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 VOLUMEN DE SEDIMENTO

Volumen en campo

Se realizó una trampa de sedimentos con el fin de conocer el volumen de sedimento acumulado en la trampa en función al tiempo en el cual se llena, por ello se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Se realizó el diseño de un desarenador teniendo en cuenta el d_{15} puesto que es un parámetro que se utiliza mucho en el diseño de filtros con el fin de obtener medidas en cuanto a ancho, largo, profundidad o altura, en función a estas medidas se trabajó en campo para la excavación de la trampa de sedimentos.

Longitud de cámara= 11 m, Altura= 1.4 m, Ancho= 1.5 m. (Ver anexo 2, tabla N° 38).

Estas medidas me sirvieron como base para generar la trampa de sedimentos dentro del río Porcón – Cajamarca 2020.

- ✓ En la trampa de sedimentos se atrapo materiales geológicos como:
Areniscas (roca sedimentaria, además es de grano medio), arenisca ferruginosa, andesitas (roca ígnea extrusiva y subvolcanica), brechas (roca sedimentaria, de grano muy grueso), traquita violácea (roca volcánica, pertenece a los piroxenos), cantos rodados, diorita (equivalente a la roca andesita).
- ✓ Levantamiento topográfico inicial de la trampa de sedimentos dentro del río porcón se realizó el 02 de enero del 2020. (ver anexo 1, figura 30)
- ✓ El día 10 de marzo del 2020, se registró una lluvia intensa, mediante lo cual se pudo observar que el tiempo de duración del caudal es de aproximadamente 55 minutos, posterior a este tiempo el caudal vuelve a bajar.
- ✓ El periodo de lluvias en el Perú se inicia en el mes de setiembre y culmina en abril del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo diciembre-marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones, presentan sus mayores intensidades (SENAMHI), por lo cual se puede manifestar que el mayor arrastre se registró durante el periodo de aforo.
- ✓ Los aforos se realizaron en los meses de febrero, marzo y abril, de los cuales solo 13 caudales producen arrastre de sedimentos, posterior a estos meses si se registraron lluvias, pero no de mayor incidencia, después de una visita cada 15 días al río, en el mes de setiembre se observó que la trampa estaba totalmente llena, realizándose así el levantamiento final de dicha trampa el 16 de setiembre del 2020.
- ✓ Basándome en esta información el tiempo de arrastre que produjo el llenado de la trampa es de aproximadamente 15 horas, lo cual equivale a 54000 s.

- ✓ Se obtuvo el volumen de la trampa de sedimentos mediante el AUTOCAD CIVIL 3D con la opción centro de controles de volumen, a través de una superficie inicial y una superficie final, el volumen calculado es de 39.16 m^3 .

Tabla 27: Volumen de trampa de sedimentos.

Unidades parámetro	m3
volumen inicial	41.6
volumen final	2.44
Volumen trampa	39.16

Fuente: Elaboración propia.

Con este volumen podemos hallar el gasto sólido de fondo en campo:

$$Q_B = \frac{V (m^3)}{T(s)}$$

Tabla 28: Gasto sólido de fondo medido en campo del río Porcón.

Gasto sólido de fondo en campo	
$Q_B(m^3/s)$	0.00073

Volumen en gabinete

Para conocer el volumen de sedimento transportado se aplicó la fórmula N° 31, la misma que requiere datos como el peso específico (ver tabla 15), porosidad (ver tabla 17), el tiempo de concentración de la cuenca (tabla 8) y el gasto sólido de fondo total en m^3/s . para los 5 métodos se han calculado los volúmenes que transportaron en los meses de febrero, marzo y abril del 2020, en la tabla 29 se muestran los resultados.

Tabla 29: Volúmenes en m³ para los caudales que producen arrastre de sedimentos.

FECHA	Caudal (m ³ /s)	Meyer - Peter y Müller (m ³)	Einstein y Einstein – Brown (m ³)	Parker, Klingeman y Mc Lean (m ³)	Pernecker y vollmers (m ³)	Mizuyama y Shimohigashi (m ³)
10/03/2020	1.63	228.56	69.65	5.87	193.47	1.07
11/03/2020	2.42	450.55	151.43	94.74	399.25	1.59
12/03/2020	1.62	239.26	73.42	7.25	202.44	1.06
13/03/2020	2.17	435.02	145.60	83.77	383.57	1.42
14/03/2020	2.06	405.35	134.48	65.69	354.13	1.35
15/03/2020	1.83	330.25	106.47	29.76	282.72	1.20
16/03/2020	1.83	323.32	103.91	27.19	276.37	1.20
17/03/2020	1.77	387.11	127.65	55.75	336.37	1.16
18/03/2020	1.57	269.59	84.28	12.41	228.43	1.03
19/03/2020	1.49	231.22	70.59	6.31	195.69	0.98
02/04/2020	2.10	469.51	158.55	105.30	418.65	1.38
04/04/2020	1.67	296.59	94.09	18.81	252.21	1.10
06/04/2020	1.45	297.63	94.47	19.18	253.15	0.95

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ✓ Mediante el análisis de formación geológica al lecho del río Porcón, Sedacaj concluye que se trata de una formación Porculla (Po Po), la cual tiene una litología predominante en Andacitas, en cuanto a la geomorfología se sabe que el río Porcón es una **Vertiente o piedemonte aluvio – lacustre**, con un desarrollo de ganadería y expansión urbana. Finalmente, en cuanto a condiciones del suelo el río Porcón es **PA Paramo andosol Montañas intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos**, con pendientes empinadas, pedregosos y erosión moderada a severa.
- ✓ Realizando el análisis de geología, geomorfología y condiciones de suelo de la cuenca Río Porcón a mayor detalle se tiene los siguientes resultados:

Tabla 30: Geología, Geomorfología y condiciones de suelo de la cuenca Río Porcón.

<p>GEOLOGÍA: Presenta las siguientes formaciones geológicas en su área total (ubicadas de mayor a menor área)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Formación Porculla - Formación Farrat - Formación Chúlec - Formación Pulluicana - Formación Pariatambo - Formacion Carhuaz - Formación Inca - Deposito fluvial
<p>GEOMORFOLOGÍA: presenta las siguientes formas (ubicadas de mayor a menor área).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Montaña fuertemente disectada en rocas de patógeno. - Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y superior. - Altiplanicie fuertemente inclinada en rocas del paleógeno. - Ladera de montañas empinada en rocas del cretáceo inferior y superior. - Complejo de terrazas inundable y no inundable.
<p>CONDICIONES DE SUELO: presenta las siguientes condiciones en suelo (ubicadas de mayor a menor área).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Paramo Andasol (generalmente suelos volcánicos) - Andasol – leptosol. (contenido de tierra fina) - Paramosol - Paramosol – leptosol - Fluvisol – phaeozem. (desarrollados sobre un río)

4.1 CARTOGRAFÍA

- ✓ La cuenca del río Porcón tiene un área de 68.80 km^2 , presenta alturas desde los 2848 m.s.n.m hasta los 3690 m.s.n.m, tiene una pendiente media de la cuenca de 16.13% y una pendiente media del cauce de 3.42%, véase la tabla 8, en donde se muestran los parámetros geomorfológicos calculados para la cuenca del Río Porcón.
- ✓ Según la pendiente media de la cuenca y considerando los valores de la tabla 1, en condición de pendientes para la región de Cajamarca se afirma que la Captación Río Porcón es una superficie ligeramente inclinada a moderadamente empinada.
- ✓ Según la pendiente del cauce 3.42%, se trata de un río de Montaña o juventud el cual posee pendientes longitudinales fuertes, superiores a 0,005 y velocidades considerables durante crecientes, que varían de 1,0 a 2,5 m/s y en ocasiones hasta 5,0 m/s (OCHOA, R.2011)

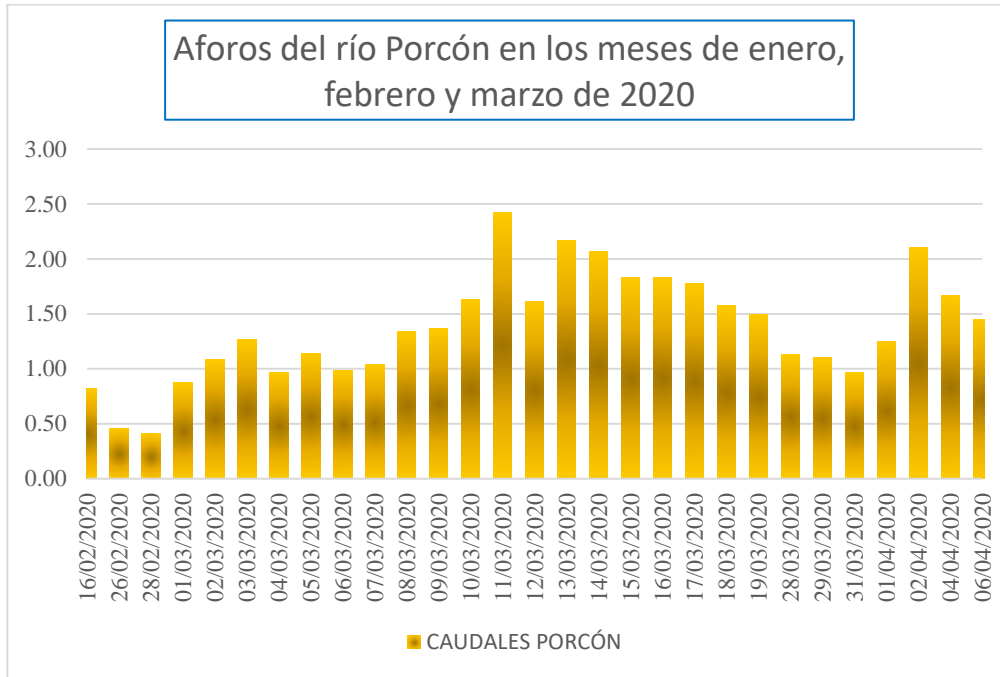
4.2 MORFOLOGÍA

- ✓ Mediante la tabla 14, podemos saber que se trata de un suelo gravoso. Ya que posee 50.22% de Grava. Además, según la figura N° 9 se trata de un suelo A bien gradado y de grano grueso.
- ✓ Según la clasificación SUCS (BRAJA M.DAS.2010), se trata de un suelo GW, suelo gravoso bien graduado porque $C_u > 4$ y $C_c = 2.01$ valor que está comprendido entre 1 y 3, como se ve en la tabla 3.
- ✓ Mediante la curva de distribución granulométrica del río Porcón, se obtuvo los diámetros característicos, para la aplicación de la formulas semiempiricas de esta investigación. Los cuales son $D_{10} = 0.0014 \text{ m}$, $D_{30} = 0.013 \text{ m}$, $D_{50} = 0.040 \text{ m}$, $D_{60} = 0.060 \text{ m}$, $D_{90} = 0.224 \text{ m}$, $D_m = 0.067 \text{ m}$. Ver gráfico 1.
- ✓ En el gráfico 2, los cantos y rodados predominan desde los diámetros 254 mm hasta 152.4 mm y en menor porcentaje están los cantos y rodados de diámetros desde 101.6 mm hasta el 88.9 mm, el material en cuanto a gravas presenta un mayor porcentaje en los diámetros desde los 63.5 mm hasta 19.05 mm y en menor porcentaje desde los 12.70 mm hasta los 4.75 mm y finalmente en cuanto a finos se tiene una predominancia en los diámetros 2.36 mm hasta 0.43 mm y en menor proporción desde los diámetros 0.25 mm hasta 0.15 mm. Para la clasificación de los diámetros véase la tabla 2.

4.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

- ✓ Los aforos del río Porcón se muestran en el gráfico 3, donde se puede apreciar la variación de caudales diarios desde el 16 de febrero de 2020 hasta el 06 de abril de 2020. En este año las lluvias no se manifestaron en el mes de enero, es por ello que los aforos se realizaron en febrero, se registró anomalías muy por encima del 75% en periodos de lluvia. (SENAMHI,2020)

Gráfico 3 Variación de caudales diarios.



- ✓ En la tabla 23, se muestran los parámetros hidráulicos para caudales mayores o iguales al caudal dominante, mediante los cuales se pueden aplicar las 5 fórmulas empíricas de gasto sólido de fondo, estos fueron adquiridos gracias a mediciones in situ como trabajo en gabinete.

4.4 GASTO SÓLIDO DE FONDO DEL RÍO PORCÓN

- ✓ En la tabla 26, se muestran los resultados de gasto sólido para cada caudal aforado mayor al caudal dominante en los meses de febrero, marzo y primeros días de abril del 2020, y se observa que para Meyer – Peter y Müller los resultados son muy altos en función a la realidad del río Porcón, una de las razones es que el diámetro medio de la partícula en el presente estudio es de 0.067 m lo cual escapa del rango de aplicación de esta fórmula que es de un D_m como mínimo 0.0004 y como máximo 0.030 m , en peso específico si cumple puesto que el rango de aplicación es de 1250 hasta 4200 kg/m^3 y el peso específico de esta investigación es de 2622.99 kg/m^3 . En el caso de Perneckner y vollmers los resultados son similares a los de M-P y M, puesto que los autores de estas fórmulas se basaron en los estudios de estos últimos para realizar una comparación bastante detallada.
- ✓ Los gastos sólidos obtenidos por Einstein y Einstein-Brow, Parker, Klingeman y Mc Lean y las fórmulas de Mizuyama y Shimohigashi, nos dan resultados de gastos sólidos más apropiados, de estos tres métodos, solo el de Parker, Klingeman y Mc Lean es el que se desarrolló fuera de un laboratorio, teniendo en cuenta aspectos fluviales e hidráulicos que no se pueden tener en cuenta en laboratorio.

- ✓ Mediante el resultado de gasto sólido de fondo (Tabla 28), el cual se obtuvo mediante una trampa de sedimentos, podemos saber que el método que más se ajusta a la presente investigación es Parker, Klingeman y Mc Lean (1982).
- ✓ De 30 piedras reconocidas en campo al finalizar la investigación solo se encontraron 5.

4.5 VOLUMEN DE SEDIMENTOS

- ✓ El volumen de la trampa de sedimentos realizada mediante una excavación aguas arriba del río Porcón, es de $39.16 m^3$ y el tiempo cronológico que tardó en llenarse es de 8 meses, pero no todos los días o caudales generaron arrastre de sedimentos. Es por tal razón que el tiempo a considerar está basado en la experiencia de los eventos que se han suscitado dentro del río, donde el tiempo de duración del caudal fuerte es de 55 minutos aproximadamente.
- ✓ A pesar de no ser materia de investigación en la presente investigación queda ahí la duda de cual es verdaderamente el tiempo que tomo llenarse dicha trampa de sedimentos, es algo muy difícil de estimar, puesto que solo la naturaleza sabe que eventos generaron arrastre y cuáles no. Se estimó el tiempo según la fórmula N° 31, para los caudales inmediato superiores al caudal dominante y el volumen de la trampa de sedimentos, para conocer mediante las fórmulas empíricas el tiempo que tardaría llenar la trampa de sedimentos.

Tabla 31: Tiempo en horas de llenado de trampa de sedimentos del río Porcón.

FECHA	Caudal (m ³ /s)	Meyer - Peter y Müller	Einstein y Einstein – Brown	Parker, Klingeman y Mc Lean	Pernecker y vollmers	Mizuyama y Shimohigashi
10/03/2020	1.63	0.24	0.79	9.35	0.28	51.39
11/03/2020	2.42	0.12	0.36	0.58	0.14	34.57
12/03/2020	1.62	0.23	0.75	7.58	0.27	51.83
13/03/2020	2.17	0.13	0.38	0.66	0.14	38.57
14/03/2020	2.06	0.14	0.41	0.84	0.16	40.55
15/03/2020	1.83	0.17	0.52	1.85	0.19	45.78
16/03/2020	1.83	0.17	0.53	2.02	0.20	45.66
17/03/2020	1.77	0.14	0.43	0.98	0.16	47.20
18/03/2020	1.57	0.20	0.65	4.42	0.24	53.16
19/03/2020	1.49	0.24	0.78	8.70	0.28	56.14
02/04/2020	2.10	0.12	0.35	0.52	0.13	39.82
04/04/2020	1.67	0.19	0.58	2.92	0.22	50.07
06/04/2020	1.45	0.18	0.58	2.86	0.22	57.82

La tabla 30, nos indica que por las fórmulas de Meyer-Peter y Müller, Einstein y Einstein- Brown y Pernecker y Vollmers llenarían la trampa de sedimentos en tiempos menores a una hora, por las fórmulas de Mizuyama y Shimohigashi, Parker Klingeman y Mc Lean que la trampa se llenaría en un periodo de 9.35 horas y 56.14 horas como máximo respectivamente.

El tiempo estimado de arrastre de sedimentos se basa en la observación de la duración del caudal, que es aproximadamente 55 minutos, para lo cual se estimó eventos que sumaron 15 horas en total.

Mediante estos resultados se tiene que los métodos que más se ajustan son el de Parker-Klingeman y Mc lean y las fórmulas de Mizuyama y Shimohigashi.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó los aforos durante los meses lluviosos febrero, marzo y primeros días de abril de 2020 y se registró el mayor caudal el día 11 de marzo del 2020 con $2.42 \text{ m}^3/\text{s}$ y el menor caudal se registró el día 28 de febrero del 2020 con $0.41 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ Se realizó el análisis de la cuenca Río Porcón, mediante el software ArcGIS para conocer la información cartográfica, obteniéndose que el área es de 68.80 Km^2 , con variaciones de altura desde los 2848 hasta los 3690 m.s.n.m, con una pendiente de cuenca de 16.13%, lo cual indica que es una cuenca ligeramente empinada.
- ✓ Caracterizando el cauce del río Porcón se obtuvo una pendiente de 3.42%, por tanto, se trata de un río de montaña, con presencia de 50.22 % de gravas en la muestra obtenida.
- ✓ En la sedimentología del río Porcón podemos manifestar que se trata de una formación Porculla, con una montaña fuertemente disectada y cuya condición de suelo es un Páramo Andasol.
- ✓ Se analizaron 5 fórmulas empíricas para determinar el gasto sólido de fondo del río Porcón en los meses de febrero, marzo y primeros días de abril de 2020, de las cuales Meyer - Peter y Müller, Einstein y Einstein – Brown, Pernecker y Vollmers se descartaron por sus valores muy elevados en comparación a la realidad, quedando Parker, Klingeman y Mc Lean y Mizuyama y Shimohigashi, este último da resultados muy lejanos a la observación en campo en función a tiempo y a caudal en campo esta es la razón por la que optamos por la fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean como la más adecuada para la presente investigación, esta nos da valores de transporte de sedimento de fondo desde 0.001 hasta $0.017 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ Se realizó una trampa in situ, cuyo volumen es de 39.16 m^3 , el cual se llenó en un periodo de tiempo de 15 horas aproximadamente, según la experiencia adquirida en campo.
- ✓ El tiempo calculado teóricamente mediante la fórmula de Parker, Klingeman y Mc Lean nos da un mínimo de 0.52 horas y como máximo 9.35 horas en que llena una trampa de sedimentos de 39.16 m^3 .
- ✓ El gasto sólido de fondo estimado en campo es de $0.00073 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe tener en cuenta el caudal dominante, $1.38 \text{ m}^3/\text{s}$ a partir del cual hay arrastre de sedimento de fondo.
- ✓ Nuestra capacidad predictiva debe estar sujeta a diferentes escenarios, como a las limitaciones que se pueden tener, 5 formulas fueron elegidas de las cuales solo una se aproxima a la realidad encontrada en campo.
- ✓ Se recomienda hacer mucho más extensivo el análisis del volumen acumulado en una trampa in situ en referencia al tiempo cuasi real o el más exacto posible.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

- “ESTUDIO DE GEOLOGÍA”, Gilberto CRUZADO VÁSQUEZ, Mirton E. CRISÓLOGO RODRÍGUEZ, 2009.
- PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES DEL SISTEMA DE CAJAMARCA, Sedacaj, 2020.
- “CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS DE DRENAJE”, Robert E. HORTON, junio 1932.
- “HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE” López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre (1987). Madrid, España.
- “EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO” Autoridad Nacional del Agua, 2010.
- “MANUAL DE PRÁCTICAS HIDROLOGÍA SUPERFICIAL” Héctor RIVAS, Juan P. MOLINA, Rukmini ESPINOZA, Salatiel CASTILLO, 2016.
- “PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO” D.F. CAMPOS ARANDA. 3ed, México 1998.
- “MORFOMETRÍA ADIMENSIONAL DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS ALTOANDINOS Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA”, Oswaldo ORTIZ, Néstor MONTALVO, Abel MEJIA, Absalón VASQUEZ y Eusebio INGOL. 2016
- “HIDROLOGÍA” Máximo VILLON B, 2002.
- “MECÁNICA DE SUELOS” TOMO 1-TEORÍA Y APLICACIONES DE LA MECÁNICA DE SUELOS, JUÁREZ BADILLO & RICO RODRÍGUEZ, 1973.
- “HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS” CHOW, V.T, 1 ed 1982.
- “ÉPOCAS DE CONCENTRACIÓN DE PEQUEÑAS CUENCAS AGRÍCOLAS” Kirpich, Z. P. 1940. Civ. Eng. (N.Y.), 10(6), 362.
- “MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES” Carlos CRESPO VILLALAZ, 6° Ed. 2008.
- “TRANSPORTE DE SEDIMENTOS”, José Antonio MAZA ALVAREZ, Manuel GARCÍA FLORES & otros; versión actualizada 2007.
- “TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y MORFODINÁMICA DE RÍOS ALUVIALES”, Pedro ABEL BASILE; 1ra Ed. 2018.
- “HIDRÁULICA DE RÍOS Y PROCESOS MORFOLÓGICOS”, Tomás OCHOA RUBIO; edición 2011)
- “FENÓMENOS DE FLUJO Y TRANSPORTE DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL EN CAUCES DE GEOMETRÍA SIMPLE”
Vol. 16. 627 p. GRAF, W. H., & Altinakar, M. S. 2000.

- “MANUAL DE USO DEL CORRENTÓMETRO FP111-FP211-FP311” Global Water Instrumentación, 2009.
- “EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN REGIONES SEMIÁRIDAS” Luis CASTILLO & Dolores MARÍN M,2010.
- “TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO Y VOLUMEN GENERADO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN DEL CHICCHE – CAJAMARCA 2016” Roxana VALDIVIA DIAZ,2018.
- “ESTUDIO DE LAS TEORÍAS DE ARRASTRE DE FONDO SOBRE EL RÍO NEGRO, EN UN TRAMO DE 100 M AGUAS ARRIBA DEL PUENTE TOBIA LA MONTAÑA, MEDIANTE UN MODELO FÍSICO”. ASTRID JULIETH PEÑALOSA OLARTE DIANA CRISTINA ARIAS ALDANA, 2010.
- “PRINCIPIOS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN RÍOS, ESTUARIOS Y MARES COSTEROS”, Delft Hidráulica, Universidad de Utrecht, Departamento de Geografía Física, Holanda, 1378p. VAN RIJN, L.C. (1993).
- Artículo “CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO CAUCA”, *INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE*, Carlos RAMIREZ, José Luis GARCÍA, Oscar RAMIREZ, Ricardo A BOCANEGRA, volumen I, 2004.
- Artículo “TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN CORRIENTES NATURALES: REVISIÓN TÉCNICA DE ECUACIONES EMPÍRICAS DE PREDICCIÓN DEL ARRASTRE DE SEDIMENTOS DE FONDO”, BRAVO ESPINOZA, WAITE R, LOPES L, 2004. Vol.22, 377-386p.
- FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, BRAJA M.DAS 2010, 594p.
- Revista: “DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE CAÍDA DE SEDIMENTOS NO COHESIVOS”, COMINI B, ZEGARRA J,2019.
- “OBRAS HIDRÁULICAS “. Francisco TORRES HERRERA, 2da Ed.1987.
- “RELACIÓN CAUDAL LÍQUIDO – CAUDAL SÓLIDO EN UNA MICROCUENCA DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA (PROV. DEL CHACO, ARGENTINA)” Guillermo José MENDEZ, Carlos Alberto DEPETTRIS, Oscar ORFEO, Alejandro Ricardo RUBERTO y Jorge Víctor PILAR, 2011.
- “CICLOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL PERÚ UTILIZANDO INFORMACIÓN SATELITAL”, Sofia Marisol ENDARA HUACA-SENAMHI, 2016.
- INFORME TÉCNICO: “ANÁLISIS DEL PERIODO LLUVIOSO 2019/2020 A NIVEL NACIONAL” A. CASTRO; K. CORREA; G. AVALOS; P. PORRAS; V. CASTRO; L. RODRIGUEZ; N. QUISPE; K. QUISPE. SENAMHI,2020.

CAPITULO VII

ANEXOS

ANEXO 1. TRABAJOS REALIZADOS EN CAMPO – PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 24: Reconocimiento del terreno



Figura 25: Reconocimiento de piedras dentro del río.



Figura 26: Punto de aforo en tramo recto.



Figura 27: Levantamiento topográfico del río Porcón



Figura 28: Captación Río Porcón



Figura 29: Excavación de la trampa de sedimentos



Figura 30: Levantamiento topográfico de la trampa de sedimentos



Figura 31: Geología encontrada en la trampa de sedimentos de la captación río Porcón.



Figura 32: Traslado de material a laboratorio de suelos.



Figura 33: Ficha de recepción de muestras de suelo.

RECEPCIÓN DE MUESTRAS EN LABORATORIO

CLIENTE: FONDO DEL RÍO PORCÓN
 PERSONAL DE LABORATORIO: Ingrid Tasilla
 Nº muestra: 045

INFORMACIÓN DE MUESTRAS

Nº	Identificación de muestra	Ubicación de muestra	Materia (litros)	Presión (kg)	EPES (UNIDADES)	Nº	ENSAYOS EN SUELOS	ENSAYOS QUÍMICOS	ENSAYOS EN AGREGADOS
1	045-M-0002-014	Calceatas	3 sacos blancos	12					
2	045-M-0002-001								
3	045-M-0002-002								
4	045-M-0002-003								
5	045-M-0002-004								
6	045-M-0002-005								
7	045-M-0002-006								
8	045-M-0002-007								
9	045-M-0002-008								
10	045-M-0002-009								

ANÁLISIS DE LABORATORIO

3 calceatas

Ficha de recepción de muestras, en el laboratorio GUERSAN, se llevaron un total de 12 sacos.

Figura 34: Granulometría en laboratorio: secado y granulometría.



Tamizando el suelo extraído del río Porcón.

Se realizó el análisis granulométrico mediante la norma A.S.T.M D 6913





Pesando los sedimentos retenidos en los tamices. Balanza con sensibilidad de 0.1 g.

Figura 35: Cantos y rodados



Figura 36: Densidad aparente in situ





Dentro del lecho del río Porcón, se realizó una pequeña calicata de 20 cm x 20 cm y 20 cm de profundidad, se extrajo todo el material contenido y se pesó húmedo, en laboratorio se puso a secar la muestra, con el fin de conocer la densidad aparente.

ANEXO 2. CÁLCULOS EN GABINETE A PARTIR DE DATOS IN SITU.

Tabla 32: Aforos durante meses lluviosos.

Equipo:	Correntómetro Global Water								
Modelo:	FP111		Serie:	1602000259					
Nombre de río en estudio:	"Río Porcón" - Huambocancha alta								
Ubicación del monitoreo:	metros aguas arriba de la captación Río Porcón								
Coordenadas:		17 M	771143						
		UTM	9214163						
		Altitud:	2844 m.s.n.m						
Fecha de Aforo:	16/02/2020	Hora de Aforo:	9:00 a. m.						
Clima:	soleado	Agua:	clara						
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui								
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO									
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área		Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)	
Margen Derecha	0.000	0.000	0.130						
1	0.500	0.500	0.205	0.500	0.400	0.103	0.051	0.041	
2	0.500	1.000	0.200	0.400	0.200	0.100	0.040	0.020	
3	0.500	1.500	0.220	0.400	0.300	0.110	0.044	0.033	
4	0.500	2.000	0.190	0.300	0.200	0.095	0.029	0.019	
5	0.500	2.500	0.210	0.500	0.400	0.105	0.053	0.042	
6	0.500	3.000	0.230	0.800	0.600	0.115	0.092	0.069	
7	0.500	3.500	0.220	0.900	0.800	0.110	0.099	0.088	
8	0.500	4.000	0.270	1.200	1.000	0.135	0.162	0.135	
9	0.500	4.500	0.220	1.200	1.000	0.110	0.132	0.110	
10	0.500	5.000	0.140	0.700	0.600	0.070	0.049	0.042	
11	0.500	5.500	0.110	0.400	0.300	0.055	0.022	0.017	
12	0.500	6.000	0.070	0.400	0.200	0.035	0.014	0.007	
13	0.500	6.500	0.160	0.300	0.200	0.080	0.024	0.016	
14	0.500	7.000	0.090	0.200	0.100	0.045	0.009	0.005	
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000						
			0.167	0.586	0.450	1.268	0.819	0.643	

Fecha de Aforo:	26/02/2020	Hora de Aforo:	10:36 a. m.					
Clima:	Nublado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Izquierda	1.000	1.000	0.057			0.057		
1	0.500	1.500	0.115	0.300	0.200	0.058	0.017	0.012
2	0.500	2.000	0.080	0.200	0.100	0.040	0.008	0.004
3	0.500	2.500	0.067	0.300	0.100	0.034	0.010	0.003
4	0.500	3.000	0.098	0.400	0.300	0.049	0.020	0.015
5	0.500	3.500	0.155	0.400	0.300	0.078	0.031	0.023
6	0.500	4.000	0.195	0.700	0.600	0.098	0.068	0.059
7	0.500	4.500	0.130	0.900	0.700	0.065	0.059	0.046
8	0.500	5.000	0.170	0.800	0.700	0.085	0.068	0.060
9	0.500	5.500	0.135	0.800	0.700	0.068	0.054	0.047
10	0.500	6.000	0.150	0.500	0.400	0.075	0.038	0.030
11	0.500	6.500	0.190	0.400	0.300	0.095	0.038	0.029
12	0.500	7.000	0.130	0.500	0.400	0.065	0.033	0.026
13	0.360	7.360	0.150	0.300	0.200	0.054	0.016	0.011
Margen Derecha	0.220	7.580	0.105			0.023		
			0.128	0.500	0.385	0.942	0.459	0.363

Fecha de Aforo:	28/02/2020	Hora de Aforo:	11:00 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Izquierda	1.000	1.000	0.105			0.105		
1	0.500	1.500	0.120	0.200	0.200	0.060	0.012	0.012
2	0.500	2.000	0.130	0.200	0.100	0.065	0.013	0.007
3	0.500	2.500	0.140	0.300	0.200	0.070	0.021	0.014
4	0.500	3.000	0.140	0.300	0.200	0.070	0.021	0.014
5	0.500	3.500	0.145	0.300	0.300	0.073	0.022	0.022
6	0.500	4.000	0.180	0.500	0.400	0.090	0.045	0.036
7	0.500	4.500	0.230	0.500	0.400	0.115	0.058	0.046
8	0.500	5.000	0.190	0.800	0.700	0.095	0.076	0.067
9	0.500	5.500	0.155	0.600	0.500	0.078	0.047	0.039
10	0.500	6.000	0.140	0.400	0.200	0.070	0.028	0.014
11	0.500	6.500	0.155	0.400	0.300	0.078	0.031	0.023
12	0.500	7.000	0.180	0.400	0.200	0.090	0.036	0.018
Margen Derecha	0.580	7.580	0.070			0.041		

Fecha de Aforo:	01/03/2020	Hora de Aforo:	9:57 a. m.					
Clima:	despejado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Izquierda	1.000	1.000	0.150			0.150		
1	0.500	1.500	0.150	0.400	0.300	0.075	0.030	0.023
2	0.500	2.000	0.175	0.400	0.400	0.088	0.035	0.035
3	0.500	2.500	0.185	0.500	0.400	0.093	0.046	0.037
4	0.500	3.000	0.170	0.700	0.600	0.085	0.060	0.051
5	0.500	3.500	0.210	0.600	0.600	0.105	0.063	0.063
6	0.500	4.000	0.260	0.900	0.800	0.130	0.117	0.104
7	0.500	4.500	0.300	0.900	0.800	0.150	0.135	0.120
8	0.500	5.000	0.275	1.000	1.000	0.138	0.138	0.138
9	0.500	5.500	0.205	0.900	0.700	0.103	0.092	0.072
10	0.500	6.000	0.165	0.600	0.500	0.083	0.050	0.041
11	0.500	6.500	0.190	0.500	0.400	0.095	0.048	0.038
12	0.500	7.000	0.235	0.500	0.400	0.118	0.059	0.047
Margen Derecha	0.580	7.580	0.155			0.090		

Fecha de Aforo:	03/03/2020	Hora de Aforo:	10:24 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.170					
1	0.500	0.500	0.280	0.500	0.400	0.140	0.070	0.056
2	0.500	1.000	0.330	0.600	0.400	0.165	0.099	0.066
3	0.500	1.500	0.270	0.500	0.400	0.135	0.068	0.054
4	0.500	2.000	0.230	0.600	0.500	0.115	0.069	0.058
5	0.500	2.500	0.285	0.800	0.900	0.143	0.114	0.128
6	0.500	3.000	0.350	1.000	0.900	0.175	0.175	0.158
7	0.500	3.500	0.390	1.100	1.000	0.195	0.215	0.195
8	0.500	4.000	0.295	1.000	1.000	0.148	0.148	0.148
9	0.500	4.500	0.265	0.700	0.600	0.133	0.093	0.080
10	0.500	5.000	0.240	0.600	0.500	0.120	0.072	0.060
11	0.500	5.500	0.190	0.400	0.200	0.095	0.038	0.019
12	0.500	6.000	0.160	0.500	0.500	0.080	0.040	0.040
13	0.500	6.500	0.170	0.500	0.400	0.085	0.043	0.034
14	0.500	7.000	0.110	0.400	0.300	0.055	0.022	0.017
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.055			0.025		

Fecha de Aforo:	02/03/2020	Hora de Aforo:	10:35 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Izquierda	1.000	1.000	0.145	0.500	0.400	0.145	0.073	0.058
1	0.500	1.500	0.200	0.600	0.500	0.100	0.060	0.050
2	0.500	2.000	0.150	0.400	0.200	0.075	0.030	0.015
3	0.500	2.500	0.160	0.600	0.600	0.080	0.048	0.048
4	0.500	3.000	0.170	0.800	0.700	0.085	0.068	0.060
5	0.500	3.500	0.245	1.000	0.900	0.123	0.123	0.110
6	0.500	4.000	0.300	1.000	0.900	0.150	0.150	0.135
7	0.500	4.500	0.340	1.000	1.000	0.170	0.170	0.170
8	0.500	5.000	0.270	0.800	0.700	0.135	0.108	0.095
9	0.500	5.500	0.230	0.700	0.600	0.115	0.081	0.069
10	0.500	6.000	0.200	0.500	0.500	0.100	0.050	0.050
11	0.500	6.500	0.260	0.400	0.300	0.130	0.052	0.039
12	0.500	7.000	0.295	0.500	0.400	0.148	0.074	0.059
Margen Derecha	0.580	7.580	0.155			0.090		

Fecha de Aforo:	04/03/2020	Hora de Aforo:	8:53 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.130					
1	0.500	0.500	0.165	0.500	0.400	0.083	0.041	0.033
2	0.500	1.000	0.275	0.400	0.400	0.138	0.055	0.055
3	0.500	1.500	0.210	0.500	0.400	0.105	0.053	0.042
4	0.500	2.000	0.175	0.500	0.400	0.088	0.044	0.035
5	0.500	2.500	0.245	0.800	0.700	0.123	0.098	0.086
6	0.500	3.000	0.300	1.000	0.900	0.150	0.150	0.135
7	0.500	3.500	0.325	1.000	0.900	0.163	0.163	0.146
8	0.500	4.000	0.260	1.000	0.800	0.130	0.130	0.104
9	0.500	4.500	0.235	0.600	0.500	0.118	0.071	0.059
10	0.500	5.000	0.195	0.600	0.500	0.098	0.059	0.049
11	0.500	5.500	0.150	0.400	0.400	0.075	0.030	0.030
12	0.500	6.000	0.140	0.600	0.500	0.070	0.042	0.035
13	0.500	6.500	0.135	0.400	0.300	0.068	0.027	0.020
14	0.500	7.000	0.040	0.400	0.300	0.020	0.008	0.006
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	05/03/2020	Hora de Aforo:	9:04 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área		
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.120					
1	0.500	0.500	0.215	0.600	0.600	0.108	0.065	0.065
2	0.500	1.000	0.260	0.600	0.500	0.130	0.078	0.065
3	0.500	1.500	0.210	0.700	0.600	0.105	0.074	0.063
4	0.500	2.000	0.175	0.700	0.700	0.088	0.061	0.061
5	0.500	2.500	0.235	1.000	0.900	0.118	0.118	0.106
6	0.500	3.000	0.290	1.100	0.900	0.145	0.160	0.131
7	0.500	3.500	0.340	1.200	1.000	0.170	0.204	0.170
8	0.500	4.000	0.255	1.000	0.900	0.128	0.128	0.115
9	0.500	4.500	0.200	0.800	0.600	0.100	0.080	0.060
10	0.500	5.000	0.180	0.600	0.600	0.090	0.054	0.054
11	0.500	5.500	0.140	0.500	0.500	0.070	0.035	0.035
12	0.500	6.000	0.135	0.600	0.500	0.068	0.041	0.034
13	0.500	6.500	0.120	0.500	0.500	0.060	0.030	0.030
14	0.500	7.000	0.040	0.500	0.400	0.020	0.010	0.008
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	06/03/2020	Hora de Aforo:	9:23 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área		
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.110					
1	0.500	0.500	0.210	0.600	0.500	0.105	0.063	0.053
2	0.500	1.000	0.255	0.600	0.500	0.128	0.077	0.064
3	0.500	1.500	0.185	0.500	0.500	0.093	0.046	0.046
4	0.500	2.000	0.165	0.650	0.600	0.083	0.054	0.050
5	0.500	2.500	0.215	0.950	0.900	0.108	0.102	0.097
6	0.500	3.000	0.270	1.100	1.000	0.135	0.149	0.135
7	0.500	3.500	0.300	1.050	1.000	0.150	0.158	0.150
8	0.500	4.000	0.235	1.050	0.900	0.118	0.123	0.106
9	0.500	4.500	0.195	0.600	0.550	0.098	0.059	0.054
10	0.500	5.000	0.170	0.600	0.550	0.085	0.051	0.047
11	0.500	5.500	0.135	0.550	0.500	0.068	0.037	0.034
12	0.500	6.000	0.125	0.500	0.500	0.063	0.031	0.031
13	0.500	6.500	0.115	0.550	0.400	0.058	0.032	0.023
14	0.500	7.000	0.020	0.400	0.400	0.010	0.004	0.004
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	07/03/2020	Hora de Aforo:	10:06 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área		
						Ai (m ²)	Qi (m ³ /s)	Qi (m ³ /s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.120					
1	0.500	0.500	0.220	0.600	0.550	0.110	0.066	0.061
2	0.500	1.000	0.265	0.550	0.500	0.133	0.073	0.066
3	0.500	1.500	0.195	0.600	0.500	0.098	0.059	0.049
4	0.500	2.000	0.165	0.700	0.650	0.083	0.058	0.054
5	0.500	2.500	0.235	0.900	0.850	0.118	0.106	0.100
6	0.500	3.000	0.295	1.050	1.050	0.148	0.155	0.155
7	0.500	3.500	0.310	1.200	1.000	0.155	0.186	0.155
8	0.500	4.000	0.260	0.850	0.800	0.130	0.111	0.104
9	0.500	4.500	0.195	0.700	0.600	0.098	0.068	0.059
10	0.500	5.000	0.175	0.600	0.600	0.088	0.053	0.053
11	0.500	5.500	0.145	0.550	0.500	0.073	0.040	0.036
12	0.500	6.000	0.120	0.500	0.500	0.060	0.030	0.030
13	0.500	6.500	0.115	0.500	0.500	0.058	0.029	0.029
14	0.500	7.000	0.025	0.450	0.300	0.013	0.006	0.004
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo: 08/03/2020 Hora de Aforo: 9:28 a. m.
 Clima: soleado Agua: clara
 Operador: Jackeline Liliana Rudas Chunqui

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.125					
1	0.500	0.500	0.225	0.750	0.750	0.113	0.084	0.084
2	0.500	1.000	0.270	0.750	0.700	0.135	0.101	0.095
3	0.500	1.500	0.205	0.750	0.700	0.103	0.077	0.072
4	0.500	2.000	0.175	0.850	0.850	0.088	0.074	0.074
5	0.500	2.500	0.235	1.200	1.150	0.118	0.141	0.135
6	0.500	3.000	0.295	1.300	1.150	0.148	0.192	0.170
7	0.500	3.500	0.320	1.300	1.200	0.160	0.208	0.192
8	0.500	4.000	0.265	1.100	1.050	0.133	0.146	0.139
9	0.500	4.500	0.215	0.850	0.850	0.108	0.091	0.091
10	0.500	5.000	0.180	0.800	0.800	0.090	0.072	0.072
11	0.500	5.500	0.135	0.750	0.700	0.068	0.051	0.047
12	0.500	6.000	0.125	0.750	0.600	0.063	0.047	0.038
13	0.500	6.500	0.125	0.700	0.650	0.063	0.044	0.041
14	0.500	7.000	0.030	0.700	0.600	0.015	0.011	0.009
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo: 09/03/2020 Hora de Aforo: 9:20 a. m.
 Clima: soleado Agua: clara
 Operador: Jackeline Liliana Rudas Chunqui

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.140					
1	0.500	0.500	0.235	0.750	0.750	0.118	0.088	0.088
2	0.500	1.000	0.285	0.800	0.700	0.143	0.114	0.100
3	0.500	1.500	0.215	0.750	0.750	0.108	0.081	0.081
4	0.500	2.000	0.190	0.850	0.850	0.095	0.081	0.081
5	0.500	2.500	0.260	1.100	1.050	0.130	0.143	0.137
6	0.500	3.000	0.285	1.300	1.200	0.143	0.185	0.171
7	0.500	3.500	0.310	1.300	1.250	0.155	0.202	0.194
8	0.500	4.000	0.275	1.100	1.000	0.138	0.151	0.138
9	0.500	4.500	0.215	0.750	0.750	0.108	0.081	0.081
10	0.500	5.000	0.190	0.750	0.750	0.095	0.071	0.071
11	0.500	5.500	0.160	0.700	0.700	0.080	0.056	0.056
12	0.500	6.000	0.145	0.650	0.650	0.073	0.047	0.047
13	0.500	6.500	0.140	0.650	0.650	0.070	0.046	0.046
14	0.500	7.000	0.070	0.650	0.600	0.035	0.023	0.021
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.040					

Fecha de Aforo: 10/03/2020 Hora de Aforo: 3:50 p. m.
 Clima: soleado Agua: bien turbia
 Operador: Jackeline Liliana Rudas Chunqui

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.135					
1	0.500	0.500	0.240	0.850	0.800	0.120	0.102	0.096
2	0.500	1.000	0.300	0.850	0.800	0.150	0.128	0.120
3	0.500	1.500	0.225	0.800	0.850	0.113	0.090	0.096
4	0.500	2.000	0.210	0.850	0.850	0.105	0.089	0.089
5	0.500	2.500	0.265	1.150	1.050	0.133	0.152	0.139
6	0.500	3.000	0.335	1.350	1.300	0.168	0.226	0.218
7	0.500	3.500	0.335	1.500	1.400	0.168	0.251	0.235
8	0.500	4.000	0.295	1.250	1.250	0.148	0.184	0.184
9	0.500	4.500	0.245	1.050	0.950	0.123	0.129	0.116
10	0.500	5.000	0.195	0.900	0.850	0.098	0.088	0.083
11	0.500	5.500	0.130	0.750	0.750	0.065	0.049	0.049
12	0.500	6.000	0.155	0.800	0.800	0.078	0.062	0.062
13	0.500	6.500	0.150	0.750	0.750	0.075	0.056	0.056
14	0.500	7.000	0.065	0.700	0.600	0.033	0.023	0.020
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.020					

Fecha de Aforo:	11/03/2020	Hora de Aforo:	9:51 a. m.
Clima:	nublado	Agua:	turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.230					
1	0.500	0.500	0.320	0.850	0.850	0.160	0.136	0.136
2	0.500	1.000	0.380	1.300	1.250	0.190	0.247	0.238
3	0.500	1.500	0.310	1.000	1.000	0.155	0.155	0.155
4	0.500	2.000	0.285	1.050	0.950	0.143	0.150	0.135
5	0.500	2.500	0.345	1.200	1.150	0.173	0.207	0.198
6	0.500	3.000	0.405	1.400	1.350	0.203	0.284	0.273
7	0.500	3.500	0.390	1.950	1.850	0.195	0.380	0.361
8	0.500	4.000	0.355	1.550	1.450	0.178	0.275	0.257
9	0.500	4.500	0.295	1.200	1.100	0.148	0.177	0.162
10	0.500	5.000	0.240	0.850	0.800	0.120	0.102	0.096
11	0.500	5.500	0.230	0.800	0.800	0.115	0.092	0.092
12	0.500	6.000	0.220	0.950	0.900	0.110	0.105	0.099
13	0.500	6.500	0.225	0.800	0.800	0.113	0.090	0.090
14	0.500	7.000	0.065	0.700	0.700	0.033	0.023	0.023
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.030					

Fecha de Aforo:	12/03/2020	Hora de Aforo:	10:25 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.165					
1	0.500	0.500	0.260	0.800	0.800	0.130	0.104	0.104
2	0.500	1.000	0.325	0.850	0.800	0.163	0.138	0.130
3	0.500	1.500	0.240	0.750	0.750	0.120	0.090	0.090
4	0.500	2.000	0.215	0.850	0.850	0.108	0.091	0.091
5	0.500	2.500	0.265	1.100	1.000	0.133	0.146	0.133
6	0.500	3.000	0.320	1.400	1.300	0.160	0.224	0.208
7	0.500	3.500	0.330	1.500	1.400	0.165	0.248	0.231
8	0.500	4.000	0.290	1.300	1.200	0.145	0.189	0.174
9	0.500	4.500	0.240	0.950	0.650	0.120	0.114	0.078
10	0.500	5.000	0.195	0.850	0.800	0.098	0.083	0.078
11	0.500	5.500	0.160	0.750	0.700	0.080	0.060	0.056
12	0.500	6.000	0.165	0.750	0.700	0.083	0.062	0.058
13	0.500	6.500	0.175	0.700	0.650	0.088	0.061	0.057
14	0.500	7.000	0.020	0.600	0.500	0.010	0.006	0.005
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	13/03/2020	Hora de Aforo:	10:38 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	bien turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.210					
1	0.500	0.500	0.310	0.850	0.750	0.155	0.132	0.116
2	0.500	1.000	0.350	0.950	0.850	0.175	0.166	0.149
3	0.500	1.500	0.290	0.900	0.800	0.145	0.131	0.116
4	0.500	2.000	0.245	0.950	0.950	0.123	0.116	0.116
5	0.500	2.500	0.325	1.150	1.150	0.163	0.187	0.187
6	0.500	3.000	0.385	1.400	1.250	0.193	0.270	0.241
7	0.500	3.500	0.410	1.650	1.600	0.205	0.338	0.328
8	0.500	4.000	0.360	1.500	1.400	0.180	0.270	0.252
9	0.500	4.500	0.285	1.050	1.050	0.143	0.150	0.150
10	0.500	5.000	0.240	0.900	0.900	0.120	0.108	0.108
11	0.500	5.500	0.220	0.900	0.850	0.110	0.099	0.094
12	0.500	6.000	0.200	0.800	0.800	0.100	0.080	0.080
13	0.500	6.500	0.210	0.750	0.750	0.105	0.079	0.079
14	0.500	7.000	0.130	0.700	0.700	0.065	0.046	0.046
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.060			0.027		

Fecha de Aforo:	14/03/2020	Hora de Aforo:	10:10 a. m.
Clima:	nublado	Agua:	turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.205					
1	0.500	0.500	0.290	0.850	0.850	0.145	0.123	0.123
2	0.500	1.000	0.370	1.000	0.950	0.185	0.185	0.176
3	0.500	1.500	0.280	0.800	0.800	0.140	0.112	0.112
4	0.500	2.000	0.250	0.900	0.900	0.125	0.113	0.113
5	0.500	2.500	0.310	1.150	1.100	0.155	0.178	0.171
6	0.500	3.000	0.385	1.350	1.300	0.193	0.260	0.250
7	0.500	3.500	0.385	1.650	1.600	0.193	0.318	0.308
8	0.500	4.000	0.355	1.400	1.350	0.178	0.249	0.240
9	0.500	4.500	0.280	1.050	0.950	0.140	0.147	0.133
10	0.500	5.000	0.220	0.900	0.850	0.110	0.099	0.094
11	0.500	5.500	0.215	0.850	0.750	0.108	0.091	0.081
12	0.500	6.000	0.190	0.800	0.700	0.095	0.076	0.067
13	0.500	6.500	0.200	0.750	0.750	0.100	0.075	0.075
14	0.500	7.000	0.130	0.600	0.600	0.065	0.039	0.039
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.040			0.018		

Fecha de Aforo:	15/03/2020	Hora de Aforo:	9:40 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.195					
1	0.500	0.500	0.270	0.850	0.800	0.135	0.115	0.108
2	0.500	1.000	0.325	0.850	0.800	0.163	0.138	0.130
3	0.500	1.500	0.260	0.800	0.800	0.130	0.104	0.104
4	0.500	2.000	0.230	0.900	0.850	0.115	0.104	0.098
5	0.500	2.500	0.280	1.200	1.100	0.140	0.168	0.154
6	0.500	3.000	0.330	1.250	1.200	0.165	0.206	0.198
7	0.500	3.500	0.370	1.500	1.400	0.185	0.278	0.259
8	0.500	4.000	0.340	1.350	1.300	0.170	0.230	0.221
9	0.500	4.500	0.270	0.950	0.900	0.135	0.128	0.122
10	0.500	5.000	0.220	1.000	0.700	0.110	0.110	0.077
11	0.500	5.500	0.200	0.800	0.800	0.100	0.080	0.080
12	0.500	6.000	0.170	0.750	0.750	0.085	0.064	0.064
13	0.500	6.500	0.200	0.700	0.700	0.100	0.070	0.070
14	0.500	7.000	0.100	0.700	0.700	0.050	0.035	0.035
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.040			0.018		

Fecha de Aforo:	16/03/2020	Hora de Aforo:	12:54 p. m.
Clima:	soleado	Agua:	medio turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.180					
1	0.500	0.500	0.275	0.850	0.800	0.138	0.117	0.110
2	0.500	1.000	0.305	0.900	0.750	0.153	0.137	0.114
3	0.500	1.500	0.250	0.800	0.700	0.125	0.100	0.088
4	0.500	2.000	0.225	0.900	0.900	0.113	0.101	0.101
5	0.500	2.500	0.295	1.200	1.150	0.148	0.177	0.170
6	0.500	3.000	0.345	1.250	1.150	0.173	0.216	0.198
7	0.500	3.500	0.340	1.600	1.450	0.170	0.272	0.247
8	0.500	4.000	0.355	1.400	1.400	0.178	0.249	0.249
9	0.500	4.500	0.260	1.050	0.950	0.130	0.137	0.124
10	0.500	5.000	0.215	0.900	0.850	0.108	0.097	0.091
11	0.500	5.500	0.195	0.800	0.750	0.098	0.078	0.073
12	0.500	6.000	0.170	0.750	0.700	0.085	0.064	0.060
13	0.500	6.500	0.185	0.700	0.700	0.093	0.065	0.065
14	0.500	7.000	0.100	0.500	0.500	0.050	0.025	0.025
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.070			0.032		

Fecha de Aforo:	17/03/2020	Hora de Aforo:	9:56 a. m.					
Clima:	lluvioso	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.200					
1	0.500	0.500	0.290	0.800	0.800	0.145	0.116	0.116
2	0.500	1.000	0.330	0.800	0.800	0.165	0.132	0.132
3	0.500	1.500	0.260	0.700	0.650	0.130	0.091	0.085
4	0.500	2.000	0.240	0.850	0.800	0.120	0.102	0.096
5	0.500	2.500	0.320	1.100	1.050	0.160	0.176	0.168
6	0.500	3.000	0.375	1.150	1.100	0.188	0.216	0.206
7	0.500	3.500	0.385	1.400	1.350	0.193	0.270	0.260
8	0.500	4.000	0.345	1.250	1.200	0.173	0.216	0.207
9	0.500	4.500	0.285	0.950	0.850	0.143	0.135	0.121
10	0.500	5.000	0.240	0.800	0.800	0.120	0.096	0.096
11	0.500	5.500	0.200	0.700	0.650	0.100	0.070	0.065
12	0.500	6.000	0.175	0.650	0.650	0.088	0.057	0.057
13	0.500	6.500	0.215	0.600	0.600	0.108	0.065	0.065
14	0.500	7.000	0.110	0.600	0.600	0.055	0.033	0.033
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.070			0.032		

Fecha de Aforo:	18/03/2020	Hora de Aforo:	8:31 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.175					
1	0.500	0.500	0.260	0.800	0.700	0.130	0.104	0.091
2	0.500	1.000	0.295	0.750	0.750	0.148	0.111	0.111
3	0.500	1.500	0.230	0.700	0.700	0.115	0.081	0.081
4	0.500	2.000	0.215	0.800	0.700	0.108	0.086	0.075
5	0.500	2.500	0.270	1.100	1.000	0.135	0.149	0.135
6	0.500	3.000	0.355	1.300	1.200	0.178	0.231	0.213
7	0.500	3.500	0.330	1.400	1.250	0.165	0.231	0.206
8	0.500	4.000	0.320	1.250	1.100	0.160	0.200	0.176
9	0.500	4.500	0.250	0.950	0.800	0.125	0.119	0.100
10	0.500	5.000	0.205	0.800	0.800	0.103	0.082	0.082
11	0.500	5.500	0.170	0.700	0.700	0.085	0.060	0.060
12	0.500	6.000	0.140	0.600	0.600	0.070	0.042	0.042
13	0.500	6.500	0.180	0.600	0.600	0.090	0.054	0.054
14	0.500	7.000	0.090	0.600	0.600	0.045	0.027	0.027
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.040			0.018		

Fecha de Aforo:	19/03/2020	Hora de Aforo:	8:20 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.175					
1	0.500	0.500	0.260	0.800	0.700	0.130	0.104	0.091
2	0.500	1.000	0.280	0.700	0.700	0.140	0.098	0.098
3	0.500	1.500	0.200	0.650	0.650	0.100	0.065	0.065
4	0.500	2.000	0.210	0.800	0.800	0.105	0.084	0.084
5	0.500	2.500	0.270	1.150	1.050	0.135	0.155	0.142
6	0.500	3.000	0.350	1.300	1.250	0.175	0.228	0.219
7	0.500	3.500	0.330	1.400	1.200	0.165	0.231	0.198
8	0.500	4.000	0.305	1.150	1.050	0.153	0.175	0.160
9	0.500	4.500	0.240	0.850	0.750	0.120	0.102	0.090
10	0.500	5.000	0.190	0.850	0.750	0.095	0.081	0.071
11	0.500	5.500	0.160	0.750	0.750	0.080	0.060	0.060
12	0.500	6.000	0.125	0.650	0.650	0.063	0.041	0.041
13	0.500	6.500	0.165	0.600	0.600	0.083	0.050	0.050
14	0.500	7.000	0.060	0.600	0.600	0.030	0.018	0.018
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.040			0.018		

Fecha de Aforo:	28/03/2020	Hora de Aforo:	9:48 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.140					
1	0.500	0.500	0.235	0.600	0.600	0.118	0.071	0.071
2	0.500	1.000	0.290	0.550	0.500	0.145	0.080	0.073
3	0.500	1.500	0.220	0.500	0.500	0.110	0.055	0.055
4	0.500	2.000	0.180	0.700	0.650	0.090	0.063	0.059
5	0.500	2.500	0.270	1.100	1.000	0.135	0.149	0.135
6	0.500	3.000	0.310	1.150	1.000	0.155	0.178	0.155
7	0.500	3.500	0.310	1.050	0.950	0.155	0.163	0.147
8	0.500	4.000	0.270	1.000	0.900	0.135	0.135	0.122
9	0.500	4.500	0.220	0.600	0.600	0.110	0.066	0.066
10	0.500	5.000	0.175	0.600	0.600	0.088	0.053	0.053
11	0.500	5.500	0.135	0.550	0.550	0.068	0.037	0.037
12	0.500	6.000	0.120	0.500	0.500	0.060	0.030	0.030
13	0.500	6.500	0.175	0.500	0.500	0.088	0.044	0.044
14	0.500	7.000	0.020	0.400	0.400	0.010	0.004	0.004
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	29/03/2020	Hora de Aforo:	3:02 p. m.
Clima:	nublado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.130					
1	0.500	0.500	0.230	0.600	0.600	0.115	0.069	0.069
2	0.500	1.000	0.290	0.650	0.600	0.145	0.094	0.087
3	0.500	1.500	0.210	0.500	0.500	0.105	0.053	0.053
4	0.500	2.000	0.155	0.650	0.600	0.078	0.050	0.047
5	0.500	2.500	0.255	1.050	1.000	0.128	0.134	0.128
6	0.500	3.000	0.300	1.150	1.050	0.150	0.173	0.158
7	0.500	3.500	0.310	1.150	1.000	0.155	0.178	0.155
8	0.500	4.000	0.260	0.900	0.850	0.130	0.117	0.111
9	0.500	4.500	0.210	0.650	0.600	0.105	0.068	0.063
10	0.500	5.000	0.160	0.600	0.600	0.080	0.048	0.048
11	0.500	5.500	0.135	0.650	0.500	0.068	0.044	0.034
12	0.500	6.000	0.120	0.500	0.500	0.060	0.030	0.030
13	0.500	6.500	0.170	0.500	0.500	0.085	0.043	0.043
14	0.500	7.000	0.030	0.400	0.300	0.015	0.006	0.005
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	31/03/2020	Hora de Aforo:	3:20 p. m.
Clima:	lloviznando	Agua:	media turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.120					
1	0.500	0.500	0.190	0.600	0.550	0.095	0.057	0.052
2	0.500	1.000	0.235	0.500	0.500	0.118	0.059	0.059
3	0.500	1.500	0.190	0.600	0.600	0.095	0.057	0.057
4	0.500	2.000	0.160	0.700	0.650	0.080	0.056	0.052
5	0.500	2.500	0.250	1.000	1.000	0.125	0.125	0.125
6	0.500	3.000	0.280	1.000	0.950	0.140	0.140	0.133
7	0.500	3.500	0.290	1.050	1.050	0.145	0.152	0.152
8	0.500	4.000	0.250	0.850	0.750	0.125	0.106	0.094
9	0.500	4.500	0.195	0.600	0.600	0.098	0.059	0.059
10	0.500	5.000	0.150	0.550	0.550	0.075	0.041	0.041
11	0.500	5.500	0.125	0.550	0.500	0.063	0.034	0.031
12	0.500	6.000	0.120	0.500	0.500	0.060	0.030	0.030
13	0.500	6.500	0.170	0.500	0.500	0.085	0.043	0.043
14	0.500	7.000	0.020	0.500	0.400	0.010	0.005	0.004
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.000					

Fecha de Aforo:	01/04/2020	Hora de Aforo:	8:15 a. m.
Clima:	nublado	Agua:	muy turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.195					
1	0.500	0.500	0.300	0.300	0.250	0.150	0.045	0.038
2	0.500	1.000	0.360	0.450	0.450	0.180	0.081	0.081
3	0.500	1.500	0.270	0.250	0.250	0.135	0.034	0.034
4	0.500	2.000	0.260	0.350	0.350	0.130	0.046	0.046
5	0.500	2.500	0.330	0.600	0.500	0.165	0.099	0.083
6	0.500	3.000	0.370	0.700	0.650	0.185	0.130	0.120
7	0.500	3.500	0.390	1.000	0.900	0.195	0.195	0.176
8	0.500	4.000	0.370	0.900	0.900	0.185	0.167	0.167
9	0.500	4.500	0.270	0.900	0.900	0.135	0.122	0.122
10	0.500	5.000	0.240	0.750	0.750	0.120	0.090	0.090
11	0.500	5.500	0.210	0.750	0.700	0.105	0.079	0.074
12	0.500	6.000	0.200	0.600	0.600	0.100	0.060	0.060
13	0.500	6.500	0.245	0.600	0.600	0.123	0.074	0.074
14	0.500	7.000	0.110	0.500	0.400	0.055	0.028	0.022
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.070			0.032		

Fecha de Aforo:	02/04/2020	Hora de Aforo:	8:45 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	muy turbia
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.210					
1	0.500	0.500	0.340	0.600	0.400	0.170	0.102	0.068
2	0.500	1.000	0.395	1.150	1.100	0.198	0.227	0.217
3	0.500	1.500	0.325	0.850	0.750	0.163	0.138	0.122
4	0.500	2.000	0.285	0.950	0.800	0.143	0.135	0.114
5	0.500	2.500	0.310	1.050	0.950	0.155	0.163	0.147
6	0.500	3.000	0.355	1.050	0.950	0.178	0.186	0.169
7	0.500	3.500	0.410	1.550	1.450	0.205	0.318	0.297
8	0.500	4.000	0.380	1.550	1.450	0.190	0.295	0.276
9	0.500	4.500	0.320	1.100	0.800	0.160	0.176	0.128
10	0.500	5.000	0.270	0.900	0.900	0.135	0.122	0.122
11	0.500	5.500	0.230	0.700	0.700	0.115	0.081	0.081
12	0.500	6.000	0.190	0.700	0.600	0.095	0.067	0.057
13	0.500	6.500	0.250	0.650	0.600	0.125	0.081	0.075
14	0.500	7.000	0.050	0.500	0.500	0.025	0.013	0.013
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.030			0.014		

Fecha de Aforo:	04/04/2020	Hora de Aforo:	9:28 a. m.
Clima:	soleado	Agua:	clara
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui		

CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO

TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.180					
1	0.500	0.500	0.270	0.600	0.550	0.135	0.081	0.074
2	0.500	1.000	0.295	0.800	0.750	0.148	0.118	0.111
3	0.500	1.500	0.240	0.700	0.650	0.120	0.084	0.078
4	0.500	2.000	0.220	0.850	0.650	0.110	0.094	0.072
5	0.500	2.500	0.280	1.150	1.100	0.140	0.161	0.154
6	0.500	3.000	0.330	1.200	1.150	0.165	0.198	0.190
7	0.500	3.500	0.370	1.550	1.450	0.185	0.287	0.268
8	0.500	4.000	0.350	1.400	1.300	0.175	0.245	0.228
9	0.500	4.500	0.280	0.950	0.950	0.140	0.133	0.133
10	0.500	5.000	0.220	0.800	0.750	0.110	0.088	0.083
11	0.500	5.500	0.170	0.700	0.650	0.085	0.060	0.055
12	0.500	6.000	0.140	0.700	0.700	0.070	0.049	0.049
13	0.500	6.500	0.210	0.600	0.600	0.105	0.063	0.063
14	0.500	7.000	0.060	0.400	0.200	0.030	0.012	0.006
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.030			0.014		

Fecha de Aforo:	06/04/2020	Hora de Aforo:	8:02 a. m.					
Clima:	soleado	Agua:	clara					
Operador:	Jackeline Liliana Rudas Chunqui							
CALCULO DEL CAUDAL MEDIANTE CORRENTOMETRO								
TRAMOS	Equidistancia entre sub-tramos (m)	Distancia acumulada de sub-tramos (m)	Tirante de Agua Yi (m)	Velocidad máx Vi (m/s)	Velocidad med Vi	Área	Caudal máx	Caudal med
						Ai (m²)	Qi (m³/s)	Qi (m³/s)
Margen Derecha	0.000	0.000	0.160					
1	0.500	0.500	0.285	0.400	0.300	0.143	0.057	0.043
2	0.500	1.000	0.330	0.700	0.700	0.165	0.116	0.116
3	0.500	1.500	0.260	0.550	0.500	0.130	0.072	0.065
4	0.500	2.000	0.210	0.700	0.650	0.105	0.074	0.068
5	0.500	2.500	0.280	1.000	0.950	0.140	0.140	0.133
6	0.500	3.000	0.330	1.100	1.000	0.165	0.182	0.165
7	0.500	3.500	0.385	1.350	1.150	0.193	0.260	0.221
8	0.500	4.000	0.320	1.250	0.750	0.160	0.200	0.120
9	0.500	4.500	0.280	0.800	0.600	0.140	0.112	0.084
10	0.500	5.000	0.220	0.700	0.550	0.110	0.077	0.061
11	0.500	5.500	0.160	0.600	0.600	0.080	0.048	0.048
12	0.500	6.000	0.140	0.600	0.500	0.070	0.042	0.035
13	0.500	6.500	0.220	0.500	0.500	0.110	0.055	0.055
14	0.500	7.000	0.060	0.500	0.200	0.030	0.015	0.006
Margen Izquierda	0.455	7.455	0.020					

Tabla 33: Datos topográficos para el cálculo de la pendiente.

Progresiva	Cota (m)
0+000.00m	2841.125
0+010.00m	2842.416
0+020.00m	2843.385
0+030.00m	2844.204
0+040.00m	2844.247
0+050.00m	2845.331
0+060.00m	2846.528
0+070.00m	2845.793
0+080.00m	2846.104
0+090.00m	2846.059
0+100.00m	2846.409
0+110.00m	2846.777
0+120.00m	2847.057
0+130.00m	2847.37
0+140.00m	2847.973
0+150.00m	2848.03
0+160.00m	2848.024
0+170.00m	2848.502
0+180.00m	2849.092
0+190.00m	2849.815
0+200.00m	2849.5
0+210.00m	2849.661
0+220.00m	2850.061
0+230.00m	2850.533
0+240.00m	2850.43
0+250.00m	2850.798
0+260.00m	2851.501
0+270.00m	2851.757
0+280.00m	2851.28
0+290.00m	2852.489
0+300.00m	2853.122
0+310.00m	2853.256
0+323.49m	2853.251


Fuente: Elaboración propia.


Tabla 34: Datos de cantos, rodados y guijarros.


CALICATA 1			
diametro (cm)	peso (kg)	diametro (cm)	peso (kg)
6.7	0.5	8.5	0.79
6.5	0.5	7.7	0.86
6.8	0.7	7.5	0.65
6.4	0.48	6.4	0.49
6.6	0.52	7	0.72
6.5	0.51	7.2	0.8
6.5	0.5	15	5.5
7.5	0.74	10	3
6.4	0.52	12	4.3
6.9	0.76	15	6.1
7.1	0.71	14	6
7.1	0.63	13	3.2
6.5	0.58	15	5
7.7	0.7	20	8.3
8.3	0.8	19	4
8.6	0.85	17	7
7.7	0.8	16.3	3.6
7.8	0.9	16	3.7
7.6	0.72	15.8	2.8
8.8	0.82	22	8
7.8	0.91	21.2	9
8.4	0.8	24.5	11
7.65	0.78	24.2	8.9
8.8	0.8	30.8	16.5
	peso total=	136.68	

CALICATA 3	
diametro (cm)	peso (kg)
15	6.202
20	6.7
17	4.5
21	7
21.5	8
11	1.5
16	3.3
10	1.85
7.8	1.9
12	2
22	8.5
9	2.8
8	2.1
8.8	2.6
9	1.8
7.2	3.5
6.8	4.5
12	1.3
7.7	1.8
7.6	1.2
peso total=	73.1

Figura 37: Resultados contenidos de humedad.

	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"		GI-EMS-2022-84
			Fecha: 5/03/2022
CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265			
SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA.		
CALICATA	C-1		
CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA			
TEMPERATURA DE SECADO	110 °C	TIEMPO DE SECADO	16 h
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Identificación de Tara	T-1		
Masa de tara (g)	358.00		
M. Tara + M.Húmeda (g)	2564.00		
M. Tara + M. Seca (g)	2521.00		
Masa de agua (g)	43.00		
Masa de Muestra Seca (g)	2163.00		
W (%)	1.99%		

	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"		GI-EMS-2022-84
			Fecha: 5/03/2022
CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265			
SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA.		
CALICATA	C-2		
CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA			
TEMPERATURA DE SECADO	110 °C	TIEMPO DE SECADO	16 h
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Identificación de Tara	T-2		
Masa de tara (g)	359.00		
M. Tara + M.Húmeda (g)	2775.00		
M. Tara + M. Seca (g)	2622.00		
Masa de agua (g)	153.00		
Masa de Muestra Seca (g)	2263.00		
W (%)	6.76%		

	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"	GI-EMS-2022-84
		Fecha: 5/03/2022
CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265		
SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI	
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA.	
CALICATA	C-3	


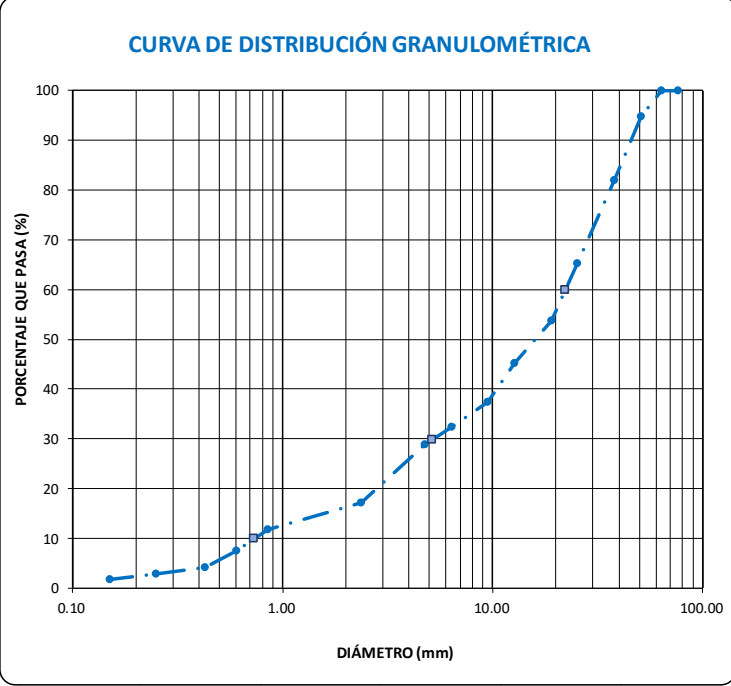
CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA			
TEMPERATURA DE SECADO	110 °C	TIEMPO DE SECADO	16 h


CONTENIDO DE HUMEDAD	
Identificación de Tara	T-1
Masa de tara (g)	360.00
M. Tara + M. Húmeda (g)	2668.00
M. Tara + M. Seca (g)	2611.00
Masa de agua (g)	57.00
Masa de Muestra Seca (g)	2251.00
W (%)	2.53%

Figura 38: Peso específico ASTM - 127

PESO ESPECIFICO DE LA MUESTRA-ASTM C 127 /MTC E 204 /NTP 400.021						
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA					
SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI					
FECHA:	03 DE MARZO DEL 2022					
MATERIAL : AGREGADO DE RÍO PORCÓN						
1.00 Peso Especifico - ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021						
Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2743.50	2743.90	2743.80	
3.02	Peso de canastilla sumergida	g	875.00	875.00	875.00	
3.03	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
3.04	Peso de la muestra secada al horno	g	2966.70	2967.40	2967.80	
3.05	Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1868.50	1868.90	1868.80	
	Peso Especifico de Masa	g/cm³	2.622	2.623	2.624	2.620
	Peso Especifico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.651	2.652	2.652	2.650
	Peso Especifico de Aparente	g/cm³	2.701	2.701	2.700	2.700
2.00 Absorción (%) ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021						
Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	2966.70	2967.40	2967.80	
	Absorción (%)	%	1.122	1.099	1.085	1.100

Figura 39: Granulometria realizada en laboratorio.

	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"					GI-EMS-	
						2022-84	
						Fecha:	
						5/03/2022	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO A.S.T.M. D 6913 / A.A.S.H.T.O. T 88							
SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI						
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA						
CALICATA	C-1	UBICACIÓN DE CALICATA	30 M AGUAS ARRIBA DE CAPTACIÓN RÍO PORCÓN.	COORDENADAS		ESTE:	771145.5
PROFUNDIDAD:		1.5 M				NORTE:	9214167.57
CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL							
TEMPERATURA DE SECADO		110° C		PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS		% TOTAL	
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		180000.00		GRAVA (%):	71.10	100.00	
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)		52015.00		ARENA GRUESA (%):	24.80		
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)		127985.00		ARENA FINA (%):	2.39		
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)		183582.00		FINOS (%):	1.70		
ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA							
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa		
N°	Abertura (mm)						
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.80	9510.00	5.28	5.28	94.72		
1 ½"	38.10	23125.00	12.85	18.13	81.87		
1"	25.40	29875.00	16.60	34.73	65.27		
¾"	19.05	20955.00	11.64	46.37	53.63		
½"	12.70	15220.00	8.46	54.83	45.18		
3/8"	9.52	13895.00	7.72	62.54	37.46		
¼"	6.35	9060.00	5.03	67.58	32.42		
N°4	4.75	6345.00	3.53	71.10	28.90		
TOTAL	W G =	127985.00					
ANÁLISIS FRACCIÓN FINA							
PESO SECO FRACCIÓN FINA :					52015.00		
N 8	2.36	21270.22	11.82	82.92	17.08		
N 20	0.85	9642.01	5.36	88.28	11.72		
N 30	0.60	7738.48	4.30	92.58	7.42		
N 40	0.43	5991.90	3.33	95.90	4.10		
N 60	0.25	2186.35	1.21	97.12	2.88		
N 100	0.15	2119.58	1.18	98.30	1.70		
Cazoleta	--	3066.46	--	--	--		
TOTAL							
							
DIAMETROS EFECTIVOS			COEFICIENTES				
D60 =	22		Cu =	30.56			
D30=	5.1		Cc =	1.64			
D10 =	0.72						

	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"	GI-EMS-
		2022-84
		Fecha: 5/03/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
A.S.T.M. D 6913 / A.A.S.H.T.O. T 88

SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI					
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA					
CALICATA	C-2	UBICACIÓN DE CALICATA	CAPTACIÓN RÍO PORCÓN	COORDENADAS	ESTE:	771185.7
PROFUNDIDAD:	0.8 M				NORTE:	9214139.34

CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL

TEMPERATURA DE SECADO	110° C	PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS		% TOTAL
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)	48000.00	GRAVA (%):	46.38	100.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)	25736.00	ARENA GRUESA (%):	18.69	
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)	22264.00	ARENA FINA (%):	29.46	
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)	51244.80	FINOS (%):	5.47	

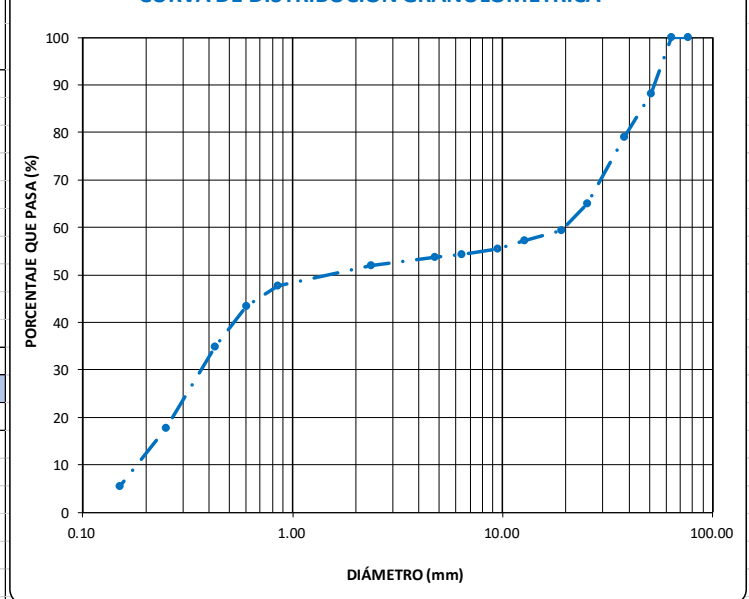
ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA


Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	5676.00	11.83	11.83	88.18
1 ½"	38.10	4388.00	9.14	20.97	79.03
1"	25.40	6696.00	13.95	34.92	65.08
¾"	19.05	2740.00	5.71	40.63	59.38
½"	12.70	1040.00	2.17	42.79	57.21
3/8"	9.52	816.00	1.70	44.49	55.51
¼"	6.35	536.00	1.12	45.61	54.39
N°4	4.75	372.00	0.78	46.38	53.62
TOTAL	W G =	22264.00			

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA

PESO SECO FRACCIÓN FINA :					25736.00
N 8	2.36	815.44	1.70	48.08	51.92
N 20	0.85	2077.85	4.33	52.41	47.59
N 30	0.60	2027.90	4.22	56.64	43.36
N 40	0.43	4048.66	8.43	65.07	34.93
N 60	0.25	8273.13	17.24	82.31	17.69
N 100	0.15	5868.32	12.23	94.53	5.47
Cazoleta	--	2624.70	--	--	--
TOTAL					

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



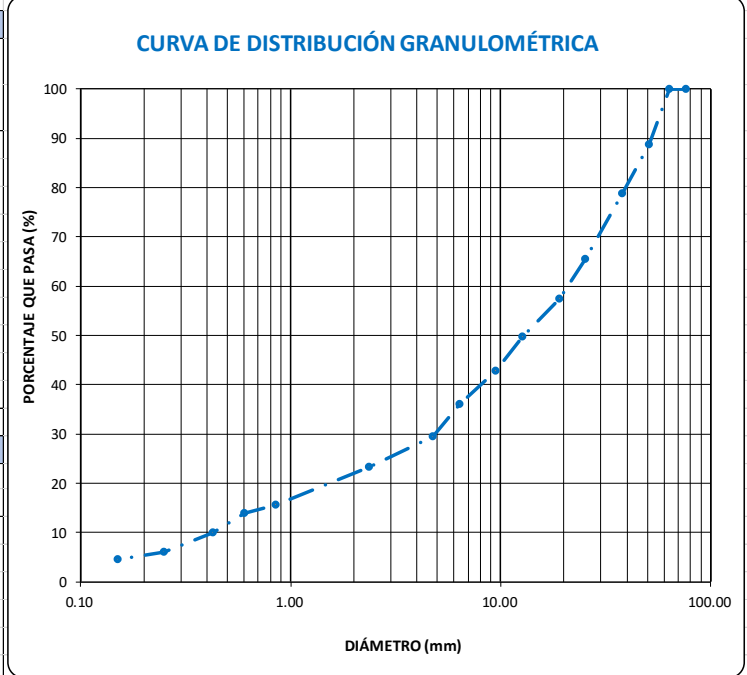
	TESIS: "GASTO SÓLIDO DE FONDO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2020"	GI-EMS-
		2022-84
		Fecha: 5/03/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
A.S.T.M. D 6913 / A.A.S.H.T.O. T 88

SOLICITANTE:	TESISTA JACKELINE LILIANA RUDAS CHUNQUI					
UBICACIÓN:	DISTRITO DE CAJAMARCA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA					
CALICATA:	C-3	UBICACIÓN DE CALICATA	50 M AGUAS DEBAJO DE CAPTACIÓN RÍO PORCÓN.	COORDENADAS	ESTE:	771224.71
PROFUNDIDAD:	1 M				NORTE:	9214112.32

CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL				
TEMPERATURA DE SECADO	110° C	PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS		% TOTAL
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)	141000.00	GRAVA (%):	70.50	100.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)	41600.75	ARENA GRUESA (%):	19.60	
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)	99399.25	ARENA FINA (%):	5.37	
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)	144567.30	FINOS (%):	4.53	

ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA					
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	15872.00	11.26	11.26	88.74
1 ½"	38.10	14014.75	9.94	21.20	78.80
1"	25.40	18669.50	13.24	34.44	65.56
¾"	19.05	11413.00	8.09	42.53	57.47
½"	12.70	10834.75	7.68	50.22	49.78
3/8"	9.52	9931.25	7.04	57.26	42.74
¼"	6.35	9400.00	6.67	63.93	36.07
N°4	4.75	9264.00	6.57	70.50	29.50
TOTAL	W G =	99399.25			



ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA :					0.0007
PESO SECO FRACCIÓN FINA :					41600.75
N 8	2.36	8839.05	6.27	76.76	23.24
N 20	0.85	10645.65	7.55	84.31	15.69
N 30	0.60	2437.81	1.73	86.04	13.96
N 40	0.43	5722.39	4.06	90.10	9.90
N 60	0.25	5305.94	3.76	93.87	6.13
N 100	0.15	2262.54	1.60	95.47	4.53
Cazoleta	--	6387.37	--	--	--
TOTAL					

DIAMETROS EFECTIVOS		COEFICIENTES	
D60 =	21	Cu =	51.22
D30=	4.9	Cc =	2.79
D10 =	0.41		

Tabla 35: Granulometría calicata 1-cantos rodados y guijarros, incluyendo material llevado a laboratorio (30 metros aguas arriba de la captación río Porcón)

Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa (%)
Nº	Abertura (mm)				
12"	304.8	0.00	0.00	0.00	100.00
10"	254	25338.54	8.00	8.00	92.00
8"	203.2	28000.00	8.84	16.84	83.16
6"	152.4	29400.00	9.28	26.13	73.87
4"	101.6	25800.00	8.15	34.27	65.73
3 1/2"	88.9	7300.00	2.31	36.58	63.42
3"	76.2	11180.00	3.53	40.11	59.89
2 1/2"	63.5	9660.00	3.05	43.16	56.84
2"	50.80	9510.00	3.00	46.16	53.84
1 1/2"	38.10	23125.00	7.30	53.47	46.53
1"	25.40	29875.00	9.43	62.90	37.10
3/4"	19.05	20955.00	6.62	69.52	30.48
1/2"	12.70	15220.00	4.81	74.32	25.68
3/8"	9.52	13895.00	4.39	78.71	21.29
1/4"	6.35	9060.00	2.86	81.57	18.43
Nº4	4.75	6345.00	2.00	83.57	16.43
N 8	2.36	21270.22	6.72	90.29	9.71
N 20	0.85	9642.01	3.04	93.34	6.66
N 30	0.60	7738.48	2.44	95.78	4.22
N 40	0.43	5991.90	1.89	97.67	2.33
N 60	0.25	2186.35	0.69	98.36	1.64
N 100	0.15	2119.58	0.67	99.03	0.97
Cazoleta	--	3066.46	0.97	100.00	0.00
		316678.54			

Tabla 36: Granulometría calicata 3-cantos rodados y guijarros, incluyendo material llevado a laboratorio (50 metros aguas abajo de la captación río Porcón)

Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
Nº	Abertura (mm)				
10"	254	0.00	0.00	0.00	100.00
8"	203.2	23500.00	10.98	10.98	89.02
6"	152.4	14500.00	6.77	17.75	82.25
4"	101.6	11002.00	5.14	22.89	77.11
3 1/2"	88.9	9050.00	4.23	27.12	72.88
3"	76.2	7000.00	3.27	30.39	69.61
2 1/2"	63.5	8000.00	3.74	34.13	65.87
2"	50.80	15872.00	7.42	41.54	58.46
1 1/2"	38.10	14014.75	6.55	48.09	51.91
1"	25.40	18669.50	8.72	56.81	43.19
3/4"	19.05	11413.00	5.33	62.14	37.86
1/2"	12.70	10834.75	5.06	67.21	32.79
3/8"	9.52	9931.25	4.64	71.85	28.15
1/4"	6.35	9400.00	4.39	76.24	23.76
Nº4	4.75	9264.00	4.33	80.57	19.43
N 8	2.36	8839.05	4.13	84.69	15.31
N 20	0.85	10645.65	4.97	89.67	10.33
N 30	0.60	2437.81	1.14	90.81	9.19
N 40	0.43	5722.39	2.67	93.48	6.52
N 60	0.25	5305.94	2.48	95.96	4.04
N 100	0.15	2262.54	1.06	97.02	2.98
Cazoleta	--	6387.37	2.98	100.00	0.00
		214052.00			

Tabla 37: Parámetros adimensionales, calculados para el río Porcón y ser aplicados en las fórmulas de gasto sólido de fondo.

(τ_*)	τ_{50}^*	ϕ_{50}	W^*	q
0.09	0.09	0.98	0.02	0.11
0.06	0.06	0.72	0.00	0.06
0.07	0.07	0.84	0.00	0.05
0.10	0.10	1.12	0.12	0.11
0.11	0.11	1.23	0.39	0.14
0.12	0.12	1.38	1.48	0.17
0.10	0.10	1.10	0.10	0.13
0.10	0.10	1.08	0.08	0.15
0.09	0.09	1.01	0.03	0.13
0.09	0.09	1.06	0.05	0.14
0.10	0.10	1.09	0.08	0.18
0.10	0.10	1.15	0.17	0.18
0.11	0.11	1.21	0.34	0.22
0.14	0.14	1.55	3.68	0.32
0.11	0.11	1.23	0.41	0.22
0.14	0.13	1.53	3.36	0.29
0.13	0.13	1.48	2.76	0.28
0.12	0.12	1.38	1.40	0.25
0.12	0.12	1.37	1.30	0.25
0.13	0.13	1.46	2.40	0.24
0.11	0.11	1.28	0.66	0.21
0.11	0.11	1.22	0.36	0.20
0.10	0.10	1.13	0.14	0.15
0.10	0.10	1.10	0.09	0.15
0.09	0.09	1.02	0.03	0.13
0.14	0.13	1.52	3.22	0.17
0.14	0.14	1.57	4.05	0.28
0.12	0.12	1.32	0.94	0.22
0.12	0.12	1.33	0.96	0.19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Diseño de Desarenador para obtener dimensiones aproximadas de la trampa de sedimentos realizada en la captación Río Porcón.

DISEÑO DE UN DESARENADOR PARA
DIMENSIONES DE LA TRAMPA DE
SEDIMENTOS.

DATOS:

D= 3.5 mm Diámetro de la Partícula, del 15% del peso retenido
 Q= 1.38 m³/s Caudal de Diseño
 n= 0.024 Rugosidad de Manning.
 i= 3.42 ‰ pendiente Entrada y Salida del canal

1.- CALCULO DE VELOCIDAD DE FLUJO

$$V_d = a \sqrt{d}$$

Donde:

Vd.= velocidad de escurrimiento cm/s
 d = diámetro mm.
 a= constante en función al diámetro

Diámetro D (mm)	a
D < 0,1mm	51
0.1mm < D < 1mm	44
D > 1mm	36

Vd.= 67.35 cm/s

Vd.= **0.67 m/s**

2.- ANCHO DE CAMARA (asumido)

B= 1.5 m

3.- ALTURA DE LA CAMARA DE SEDIMENTACION

$$H = \frac{Q}{v^* B}$$

Caudal de diseño: Q= 1.38 m³/s

Por lo tanto: H= 1.366 m

por lo que asumimos:

H= 1.4 m

Debe cumplirse:

$$0.8 \leq \frac{H}{B} \leq 1$$

relacion H/B = 0.93 **SI Cumple condición**

Verificación del tipo de Flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

Aprom= 1.6 m²

V= 0.8625 m/s

$$V_s = 3.8513 \text{ cm/s}$$

$$V_s = 0.0385 \text{ m/s}$$

5.- TIEMPO DE RETENCION

$$T_s = \frac{H}{V_s}$$

Turbulento $T_s = 36.351$ s. tiempo que demora la partícula en caer desde la superficie al fondo.

Laminar $T_s = 6.776$ s. tiempo considerando flujo Laminar

6.- LONGITUD DE LA CAMARA

Flujo Laminar

$$L = k * V_d * t_s$$

Donde:

L= Longitud de cámara (m)

k= Coeficiente de seguridad

Coeficiente de Seguridad

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0.2	1.25
0.3	1.5
0.5	2

Vd.	k
0.3	1.5
0.5	2
0.67	k

$$k = 2.4337$$

$$L = k * V_d * t_s$$

$$L = 11.106 \text{ m}$$

Constructivamente

Se asume L= 11 m

Flujo Turbulento

$$L = k * V_d * t_s$$

$$k = 2.4337 \text{ cm/s}$$

$$L = 59.584 \text{ m}$$

Se asume L= 59.6 M

Figura 40: Plano en planta de levantamiento inicial de trampa de sedimentos aguas arriba de la captación Río Porcón.

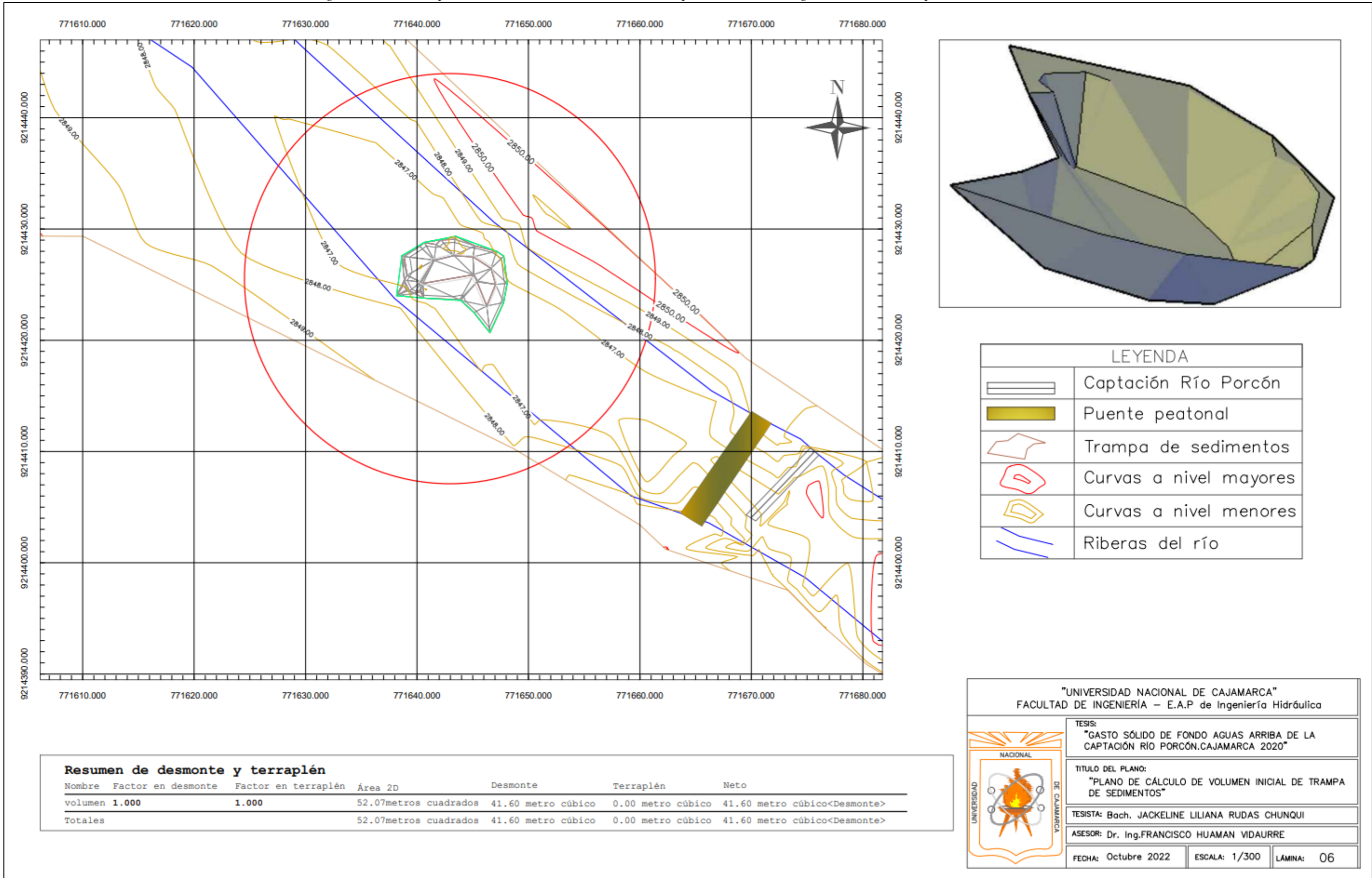


Figura 41: Plano en planta de levantamiento final de trampa de sedimentos aguas arriba de la captación Río Porcón.

