

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



**“MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN
FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO SENDAMAL,
CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023”**

TESIS

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

PRESENTADO POR:

Bach. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ

ASESOR:

M.Cs. Ing. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

CAJAMARCA – PERÚ

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ

DNI: 47406606

Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA

2. Asesor: JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

Facultad: INGENIERÍA

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

6. Fecha de evaluación: 29/11/2024

7. Software antiplagio: TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 15 %

9. Código Documento: oid: 3117:410493773

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO

PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 29/11/2024

 FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos M.Cs. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ DNI: 26612572	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz DIRECTORA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	---



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO SENDAMAL, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2023.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0215-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 19 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintidós días del mes de mayo de 2025**, siendo las dieciséis horas (4:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Secretario : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez .

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO SENDAMAL, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2023*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica *PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ*, asesorado por el M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *07* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *18* PTS. *DIECIOCHO* (En letras)

En consecuencia, se la declara *APROBADO* con el calificativo de *DIECIOCHO (18)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *18:00* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Presidente


Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Vocal


Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario


M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la salud, a mis Padres por su gran apoyo incondicional, por su comprensión y los valores inculcados día a día, a mis hermanos y familiares por brindarme su apoyo absoluto.

A la universidad nacional de Cajamarca,
Escuela Académico Profesional de Ingeniería
Hidráulica y docentes por sus enseñanzas y
valores inculcados durante mi formación
académica.

DEDICATORIA

De manera especial, dedico este gran logro a mi Padre Justino, mi Madre Rosa y familiares por el gran amor y apoyo que me han brindado para cumplir con mis metas trazadas.

A la compañera de mi vida y a todas las personas que han mostrado su apoyo para lograr y cumplir con mis objetivos de manera satisfactoria.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.5. LIMITACIONES	4
1.6. OBJETIVOS.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	6
2.2. BASES TEÓRICAS.....	7
2.2.1. Ríos de montaña.....	7
2.2.2. Coeficiente de resistencia	7
2.2.3. Aforo de corrientes naturales	8
2.2.4. La ecuación de Manning.....	11
2.2.5. Ecuaciones teóricas para flujo uniforme.....	12
2.2.6. Interpretación teórica del coeficiente de rugosidad de Manning	16
2.2.7. Métodos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning	17

2.2.7.1.	Método de medición de la velocidad.....	17
2.2.7.2.	Método de medición de la rugosidad	18
2.2.8.	Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning	18
2.2.9.	Características generales de los sedimentos	20
2.2.10.	Granulometría de los sedimentos	21
2.2.11.	Técnicas de muestreo de sedimentos en el lecho de los ríos.....	21
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		23
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	23
3.1.1.	Ubicación política	23
3.1.2.	Ubicación hidrográfica.....	24
3.2.	ÁREA DE ESTUDIO.....	24
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	24
3.3.1.	Materiales.....	24
3.3.2.	Equipos	25
3.4.	METODOLOGÍA	25
3.4.1.	Reconocimiento de la zona de estudio.....	25
3.4.2.	Recolección de la información de campo	26
3.4.3.	Trabajos de laboratorio de suelos	27
3.4.4.	Trabajos de gabinete	28
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1.	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	31
4.2.	CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO	33
4.3.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	34
4.4.	PENDIENTE DEL RÍO EN LOS TRAMOS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	35

4.5. CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING.....	39
4.6. VERIFICACIÓN DE LA ALTURA DE RUGOSIDAD (k) CON LOS DIÁMETROS MEDIOS	46
4.7. COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....	49
4.8. DISCUSIONES.....	50
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1. CONCLUSIONES	52
5.2. RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.	9
Tabla N° 2 Ubicación hidrográfica del río Sendamal	24
Tabla N° 3 Ubicación de los puntos de muestreo	31
Tabla N° 4 Parámetros hidráulicos del río Sendamal	33
Tabla N° 5 Parámetros hidráulicos de los puntos de aforo	35
Tabla N° 6 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-01	35
Tabla N° 7 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-02	36
Tabla N° 8 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-03	36
Tabla N° 9 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-04	37
Tabla N° 10 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-05	37
Tabla N° 11 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-06	38
Tabla N° 12 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-07	38
Tabla N° 13 Resultados del coeficiente de rugosidad por el método de la ecuación de Manning	39
Tabla N° 14 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 01.....	40
Tabla N° 15 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 02.....	40
Tabla N° 16 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 03.....	41
Tabla N° 17 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 04.....	42
Tabla N° 18 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 05.....	42
Tabla N° 19 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 06.....	43
Tabla N° 20 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E- 07.....	44
Tabla N° 21 Resumen de resultados del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad.....	44

Tabla N° 22	Altura de rugosidad (k) y función $\emptyset(R/k)$	45
Tabla N° 23	Diámetros medios de las muestras de suelo	46
Tabla N° 24	Comparación de la altura de rugosidad con los diámetros medios.....	46
Tabla N° 25	Coefficiente de rugosidad en función a la granulometría	49
Tabla N° 26	Coefficientes de rugosidad de Manning por cada método de estimación.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Tramo del río Sendamal de estudio	4
Figura N° 2	Secciones parciales de un cauce	10
Figura N° 3	Condiciones para la elección de aforo.....	11
Figura N° 4	Sección de canal para ilustrar la notación	13
Figura N° 5	Distribución de velocidades sobre una superficie de canal liso (no a escala).....	14
Figura N° 6	Naturaleza de la rugosidad superficial. (a) lisa; (b) ondulada; (c) rugosa.....	15
Figura N° 7	Función $\emptyset(R/k)$	17
Figura N° 8	Ubicación política de la zona de estudio	23
Figura N° 9	Relación entre el coeficiente de rugosidad (n) y la altura de rugosidad (k).....	47
Figura N° 10	Relación entre $\emptyset(R/k)$ y R/k	48
Figura N° 11	Reconocimiento de la zona de estudio, río Sendamal, caserío Sendamal, Sorochuco - Celendín.....	56
Figura N° 12	Levantamiento topográfico en tramos de los puntos de aforo dentro de los caseríos el Punre, Llavidque y la Carpa (Parte alta del río Sendamal).....	56
Figura N° 13	Levantamiento topográfico de los puntos de aforo dentro del caseríos Amarcucho y Sendamal (Parte media del río Sendamal).....	57
Figura N° 14	Levantamiento topográfico en tramos de los puntos de aforo dentro los caseríos La Lucma y Tacarpo (Parte baja del río Sendamal).....	57
Figura N° 15	Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-01	58
Figura N° 16	Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-02.....	58
Figura N° 17	Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-03	59
Figura N° 18	Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-04.....	59
Figura N° 19	Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-05	60

Figura N° 20 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-06.....	60
Figura N° 21 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-07.....	61
Figura N° 22 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-01	61
Figura N° 23 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-02	62
Figura N° 24 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-03	62
Figura N° 25 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-04	63
Figura N° 26 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-05	63
Figura N° 27 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-06	64
Figura N° 28 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-07	64
Figura N° 29 Peso de los cantos y rocas con balanza romana de 50 kg.....	65
Figura N° 30 Transporte del material de suelo	65
Figura N° 31 Laboratorio de suelos Kaolin Ingenieros.....	66
Figura N° 32 Tamizado de las muestras de suelo	66
Figura N° 33 Separación de los tamaños de las muestras de suelos, de acuerdo al tamizado	67
Figura N° 34 Peso de cada fracción de las muestras de suelo tamizado	67

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría del cauce del río Sendamal, para ello se han considerado 07 puntos de muestreo, ubicados a lo largo del río entre una altitud mínima de 1600 msnm y máxima de 3065 msnm, pertenecientes al distrito de Sorochuco y Huasmín. La toma de datos y muestras se realizó en el mes de octubre del 2024, que consistió en obtener los parámetros hidráulicos como: área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico, pendiente media del cauce en un tramo aguas arriba de cada punto de muestreo; así como también la medición de velocidades al 20% y 80% del tirante de flujo con un espaciamiento de 0.30 m utilizando el correntómetro. Para el análisis granulométrico, se realizó la toma de muestras de suelo de la capa superficial y sub superficial del lecho del río, mediante un muestreo de una cuadrícula con un área de 1 x 1 m, determinando el diámetro medio del material tamizado, cantos y rocas. Para la estimación del coeficiente de rugosidad se utilizaron el método de la ecuación de Manning y el método de la medición de la velocidad, obteniendo un valor promedio de 0.0567 y 0.0357 respectivamente. Seguidamente se determinó la función $\emptyset(R/k)$, obteniendo como valor promedio de 0.0456, de tal manera que la ecuación para estimar el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría resultó ser $n = 0.0456(d_m)^{1/6}$. Finalmente, se determinó el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría del cauce del río Sendamal, considerando a d_m como el diámetro medio de la muestra de suelo para cada punto de muestreo, obteniendo un valor mínimo de 0.0336, un valor máximo de 0.0361 y un valor promedio de 0.0348 para el río Sendamal.

Palabras clave: Área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico, velocidad de flujo, tirante de flujo, pendiente del cauce, granulometría, diámetro medio, altura de rugosidad, coeficiente de rugosidad.

ABSTRACT

The present investigation had the objective of estimating the Manning roughness coefficient based on the granulometry of the Sendamal riverbed. To this end, 07 sampling points have been considered, located along the river between a minimum altitude of 1600 meters above sea level and a maximum of 3065 meters above sea level, belonging to the district of Sorochuco and Huasmín. Data and sampling were carried out in October 2024, which consisted of obtaining hydraulic parameters such as: hydraulic area, wet perimeter, hydraulic radius, average slope of the channel in a section upstream of each sampling point; as well as the measurement of velocities at 20% and 80% of the flow depth with a spacing of 0.30 m using the current meter. For the granulometric analysis, soil samples were taken from the surface and subsurface layers of the river bed, by sampling a grid with an area of 1 x 1 m, determining the average diameter of the sifted material, pebbles and rocks. To estimate the roughness coefficient, the Manning equation method and the velocity measurement method were used, obtaining an average value of 0.0567 and 0.0357 respectively. The function $\emptyset(R/k)$ was then determined, obtaining an average value of 0.0456, such that the equation to estimate the roughness coefficient based on the granulometry turned out to be $n = 0.0456(d_m)^{1/6}$. Finally, the roughness coefficient was determined based on the granulometry of the Sendamal riverbed, considering d_m as the average diameter of the soil sample for each sampling point, obtaining a minimum value of 0.0336, a maximum value of 0.0361 and an average value of 0.0348 for the Sendamal river.

Keywords: Hydraulic area, wetted perimeter, hydraulic radius, flow velocity, flow depth, riverbed slope, granulometry, average diameter, roughness height, roughness coefficient.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La cuantificación numérica del coeficiente de rugosidad superficial presenta la geometría irregular del terreno y es ampliamente utilizada en los campos de investigación y proyectos de ingeniería como: canales, diques, puentes, defensas riverañas, inundaciones, así como también nos da a conocer el efecto que tiene respecto al cambio climático, etc. Donde la rugosidad del lecho del río afecta significativamente las aplicaciones de ingeniería de conservación del agua y prevención de desastres, especialmente, se trata de analizar la velocidad del flujo y las características del cauce del río.

Según Ven Te Chow (2004), el concepto de la existencia de una subcapa laminar en la capa límite turbulenta ofrece una explicación del comportamiento de la rugosidad superficial, cuando se amplifica el perfil de la superficie de un canal, puede verse que la superficie se compone de picos y valles irregulares, donde la altura efectiva de las irregularidades que forman los elementos se conoce como altura de rugosidad.

Para los cauces naturales, el coeficiente de rugosidad es un indicador integral de las irregularidades y la rugosidad de la superficie del lecho del río y las paredes de la orilla, así como de otros factores que afectan la pérdida de energía del flujo de agua, todo ello determina directamente la cantidad de pérdida de energía. a lo largo del flujo de agua. Los principales factores que afectan el coeficiente de rugosidad son:

- Composición del lecho del río y características de la pared de la orilla.
- La composición y el tamaño de las partículas de sedimentos, guijarros, rocas nativas y otros componentes en el lecho del río, y la suavidad o irregularidad de la superficie de la pared del lecho del río constituyen la rugosidad de la superficie del lecho del río.
- La pendiente, así como la presencia o ausencia de playas de borde en profundidades de agua medias y bajas, causarán cambios en el perímetro mojado y producirán diferentes grados de factores de resistencia al flujo bajo varias combinaciones.
- Estado de la vegetación: Se refiere principalmente a la presencia o ausencia de vegetación en las paredes y márgenes de los cauces de los ríos, así como su tipo, densidad, altura, cambios estacionales o interanuales, etc.

- Características del cauce como el grado de rectitud o curvatura de la sección del río, la forma de expansión y contracción por presencia de canales, puentes, tomas de agua, etc.

Debido a la complejidad de los ríos naturales, es imposible analizar cuantitativamente la rugosidad a través de factores que influyen. Por lo tanto, el método general es analizar exhaustivamente el valor de rugosidad y sus cambios en función de los parámetros hidráulicos y datos hidrológicos medidos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fórmula de Manning es utilizada para estimar el caudal de un río, donde el coeficiente de rugosidad “n” es de gran importancia, pero debido a la complejidad en el cálculo, es que en la gran mayoría estos valores suelen ser tomados de otros estudios o valores establecidos por diferentes autores que han sido determinados en otros lugares, donde las características y la composición de los cauces son distintas. Por otro lado, el coeficiente de rugosidad “n” no está definido para ríos de montaña, donde la pendiente es muy fuerte con flujos de alta turbulencia y una gran cantidad de material sólido de gran tamaño transportado.

El río Sendamal por sus características hidráulicas y presencia de grandes caudales en épocas de lluvia, resulta ser un río de gran importancia, donde la estimación del coeficiente de rugosidad es uno de los parámetros que define el caudal del río y uno de los parámetros más complejos de ser estimado, teniendo en cuenta que la construcción de las diversas estructuras considera al caudal como un dato muy importante para su dimensionamiento. Así mismo, se debe tener en cuenta que el río Sendamal se encuentra limitando a los distritos de Sorochuco y Huasmín, donde los puentes vehiculares y peatonales forman parte de las vías de comunicación constante a diversas localidades, facilitando realizar sus actividades a los pobladores.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el valor estimado del coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría del cauce del río Sendamal, Celendín – Cajamarca?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación busca estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría del cauce del río Sendamal, por ser muy utilizado en ecuaciones para determinar el caudal en cauces naturales para diversos proyectos de ingeniería.

En el río estudiado y cercano a ello, existen tierras agrícolas, viviendas y diferentes estructuras como puentes y canales de riego, donde el cálculo del caudal es de suma importancia, de tal manera que, al obtener valores del coeficiente de rugosidad de Manning representativos para dicho río, estos servirán como referencia y conocimiento del coeficiente de rugosidad para el río Sendamal y otros ríos de montaña con similares características.

1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en el río Sendamal, Distritos de Sorochuco y Huasmín, Provincia Celendín y Departamento Cajamarca, que permitió la toma de datos y muestras requeridas de los 07 puntos de muestreo durante el mes de octubre del 2024, ubicados entre una altitud mínima de 1600 y máxima de 3065 msnm.

Para determinar la granulometría, el material fino se realizó en un laboratorio de mecánica de suelos y para los cantos y rocas fueron medidos y pesados en campo, de tal manera poder obtener el diámetro medio para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría del cauce del río Sendamal.

Figura N° 1 Tramo del río Sendamal de estudio



Fuente: GOOGLE EARTH (2021)

1.5. LIMITACIONES

- La falta de una estación hidrométrica presente en el río para medir el caudal con mayor precisión.
- El tipo de material del cauce del río podrá cambiar en su recorrido y para dicho estudio, solo se tomaron muestras en 07 puntos específicos mediante muestreo.

1.6. OBJETIVOS

- **Objetivo General:**

- Estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría del cauce del río Sendamal, Celendín – Cajamarca.

- **Objetivos específicos:**

- Caracterizar y clasificar el tramo del río en estudio desde el punto de vista de la hidráulica fluvial.
- Identificar los puntos de muestreo para obtener los parámetros hidráulicos de las secciones transversales del río.
- Determinar el diámetro medio del material del lecho del río en cada punto de muestreo.
- Estimar los valores del coeficiente de rugosidad, utilizando los métodos de Manning y Ven Te Chow.
- Estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función al diámetro medio del material del lecho del río.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Burgos Flores (2021) indica que la altura de rugosidades calculadas en el río Chonta - Cajamarca, varían entre una altura máxima de 0,18 m y una altura mínima de 0,083 m, estos valores son similares al diámetro d_{30} para los puntos de medición en las progresivas 1+250, 3+250, 7+250, 9+250, 11+250, 13+250, mientras que para la progresiva 5+250 el valor de la altura de rugosidad es similar al d_{50} . Así mismo, la ecuación para estimar la rugosidad en función de la granulometría es la ecuación $n = 0.0438k^{1/6}$.

Rosales (2019) en su estudio en el río Santa, Sector Recuay – Carhuaz – Ancash, el modelo propuesto en la investigación para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría resulta ser el modelo Potencial, por ser el modelo con mayor coeficiente de determinación entre los demás modelos (Lineal, Log Normal y Exponencial) cuyo $R^2 = 0.956$ expresada por la siguiente ecuación: $n = 0.0429(d_{10})^{0.1371}$, así mismo también presenta la ecuación $n = 0.0456(d_{10})^{1/6}$ para determinar el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría, obteniendo como coeficiente de rugosidad de $n_{min} = 0.024$, $n_{max} = 0.068$ y $n_{prom} = 0.040$.

Martínez y Solano (2020) en su investigación en el río Tomebamba – Ecuador, en sus resultados presenta que el cauce del río Tomebamba al pasar por zonas montañosas, los cantos rodados tienen un tamaño considerable en promedio de 0.23 metros. Determinando que los diámetros característicos de cada sección cumplen un factor fundamental en el momento del cálculo, ya que a mayor diámetro característico el coeficiente de rugosidad aumenta, siendo directamente proporcional al diámetro de las partículas que se encuentran en el lecho del río. Los resultados obtenidos demuestran también que entre menor sea la altura del agua, mayor será el coeficiente de

rugosidad, puesto que la resistencia al flujo es mayor al tener mayor contacto con las piedras del lecho del río, de tal manera que los valores del coeficiente de rugosidad obtenido en la investigación son de 0.033, 0.035, 0.032 y 0.031 y mientras que por las fórmulas que consideran además del diámetro característico a los parámetros hidráulicos en su cálculo, obteniendo valores de 0.061 y 0.091.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Ríos de montaña

Los ríos de montaña se caracterizan por el régimen hidrológico y geomorfología fuertemente acentuada en relación a los ríos aluviales de llanuras. En particular, su perfil presenta fuertes pendientes con una configuración de saltos, pozos, cascadas y movilidad de sedimentos gruesos entre piedras, gravas y arenas. En efecto, generan una respuesta rápida a las lluvias que provocan inundaciones y como consecuencias pérdidas de vidas humanas (López et al., 2018).

Al respecto, la resistencia al flujo en los ríos de montaña es notablemente importante porque predice los máximos caudales y tiene un amplio uso en modelos hidrodinámicos para estimar los escenarios de inundaciones y el diseño de estructuras hidráulicas (López et al., 2018).

2.2.2. Coeficiente de resistencia

La resistencia al flujo en los ríos de montaña es notablemente importante porque predice los máximos caudales y tiene un amplio uso en modelos hidrodinámicos para estimar los escenarios de inundaciones y el diseño de estructuras hidráulicas, la resistencia se debe en particular a la altura de rugosidad (k), carga de fondo en lecho, forma de transportación de las partículas, la fracción viscosa y el esfuerzo cortante del lecho. Aunque, el n de Manning ha alcanzado mayor difusión en la práctica ingenieril, existen numerosos aportes científicos, pero direccionados a estudios de laboratorios y a los ríos aluviales de llanura por su fácil acceso, pero es un problema establecer

con precisión el n de Manning para los diferentes escenarios y en particular para los ríos de montaña (López et al., 2018).

Marcus et al. (1992) evaluaron once técnicas para estimar el n de Manning en río de montaña y la técnica de Jarrett (1984) produjo las mejores estimaciones, aunque con una sobrestimación promedio de 32% en el flujo turbulento y empinado, mientras que, el resto de los métodos subestimaron el n de Manning porque no abordan adecuadamente los efectos sobre la resistencia al flujo de los sedimentos de gran tamaño, bajas relaciones entre la profundidad del flujo y el radio hidráulico, pendientes pronunciadas y turbulencias severas. Las ecuaciones existentes en la literatura al ser extrapoladas en otros canales empinados en la mayoría de los casos poseen una incertidumbre desde el 30% al 66% en ríos de montaña.

2.2.3. Aforo de corrientes naturales

- **Aforos con correntómetro o molinete**

Villón (2004) describe que, para este método se emplea el correntómetro o molinete. Estos son aparatos que miden la velocidad en un punto dado del curso del agua.

Esta velocidad es medida por los instrumentos por medio de un órgano móvil que detecta la velocidad de la corriente y transmite las indicaciones de un interruptor encargado de cerrar un círculo eléctrico, cuando ha dado un cierto número de vueltas sobre un contador o contómetro.

- **Condiciones de la sección de aforo**

Villón (2004) indica que el aforo con correntómetro consiste en explorar el campo de velocidades en la sección en la que se quiere medir el caudal líquido. La ubicación ideal es aquella donde:

Los filetes líquidos son paralelos entre sí.

Las velocidades sean suficientes para una buena utilización del correntómetro.

Las velocidades son constantes para una misma altura de la escala limnimétrica.

- **Cálculo del área de la sección de aforo**

Villón (2004) menciona que, para iniciar el aforo, es necesario dividir la sección transversal en franjas. Para esto:

Medir el ancho del río (longitud de la superficie libre de agua o espejo de agua).

Dividir el espejo de agua en tramos (por lo menos N=10).

Según el proyecto hidrometeorológico centroamericano, la distancia mínima entre verticales se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 1 Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.

Ancho total mínimo del río (m)	Distancia entre verticales (m)
Menos de 2	0.20
2 – 3	0.30
3 – 4	0.40
4 – 8	0.50
8 – 15	1.00
15 – 25	2.00
25 – 35	3.00
35 – 45	4.00
45 – 80	5.00
80 – 160	10.00
160 – 350	20.00

Fuente: Villón, 2004.

Pérez y Díaz (1992) indica para obtener la profundidad al principio y al final de cada tramo como se muestra en la figura 7 y obtener la profundidad media y ancho de cada sección para generar el área por cada tramo medido de la sección transversal.

$$A1 = \frac{a+b}{2} * L + A2 = \frac{a+b}{2} * L \dots \dots \dots A10 = \frac{a+b}{2} * L \quad (1)$$

Donde:

A1: Es el área de la sección, en m²

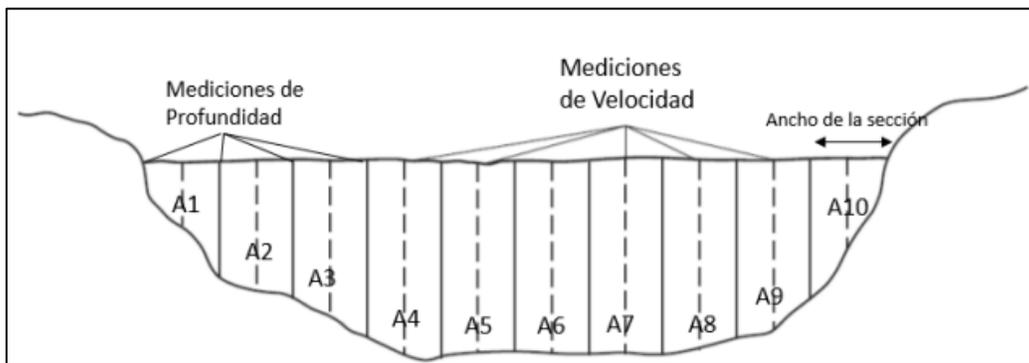
a: Profundidad inicial del tramo, en m

b: Profundidad final del tramo, en m

L: Ancho de la sección, en m

$$Area\ Total = \sum A1 + A2 + A3 \dots \dots A9 + A10 \quad (2)$$

Figura N° 2 Secciones parciales de un cauce



Fuente: ICC, 2017

Pérez y Díaz (1992) recomiendan para el aforo del caudal de un cauce natural, tener en cuenta lo siguiente:

- La sección debe ser de fácil acceso.
- La sección debe estar comprendida dentro de un tramo recto y uniforme, con una longitud aproximada de siete veces el ancho del río.
- El fondo del río debe ser suave y libre de plantas acuáticas, piedras u otros obstáculos, que puedan interferir en la medición de la velocidad de la corriente.
- Deben evitarse las secciones cercanas a los estribos de los puentes.
- La sección debe ser firme, estable y definida.
- Se debe realizar la medición mediante división o espaciamiento transversal, teniendo en cuenta las medidas mostradas en la siguiente figura.

Figura N° 3 Condiciones para la elección de aforo

Ancho de la corriente (m)	Espaciamiento (m)
hasta 1.2	0.2 - 0.3
1.2 - 5	0.3 - 0.5
5 - 10	0.5 - 1.0
10 - 50	1.0 - 5.0
50 - 100	5.0 - 10.0
más de 100	10.0 - 20.0

Fuente: Pérez y Díaz, 1992

- **Medición de la velocidad en dos puntos**

Villón (2004) muestra la ecuación para determinar la velocidad media, cuando la medición se realiza a 20 y 80 % del tirante de agua respecto a la superficie.

$$V_m = \frac{V_{0.20} + V_{0.80}}{2} \quad (3)$$

Donde:

$V_{0.20}$: Velocidad media a 0.20 de la profundidad, respecto a la superficie.

$V_{0.80}$: Velocidad media a 0.80 de la profundidad, respecto a la superficie.

- **Velocidad promedio en un tramo**

Villón (2004) indica que la velocidad promedio de cada tramo se calcula como la semisuma de las velocidades medias, de las verticales que delimita el tramo, de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (4)$$

Donde:

V_p : Velocidad promedio del tramo, V_1, V_2 : Velocidades medias de las verticales.

2.2.4. La ecuación de Manning

En 1889, el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, la cual se modificó hasta llegar a la fórmula actual:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5)$$

Donde V es la velocidad media, R es el radio hidráulico, S es la pendiente del cauce y n es el coeficiente de rugosidad. Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y además verificada mediante 170 observaciones, debido a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas y se ha convertido en la más utilizada en todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos (Ven Te Chow, 2004).

Al comparar la ecuación de Chezy con la ecuación de Manning, puede verse que:

$$C = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad (6)$$

Esta ecuación da una relación importante entre el C de Chezy y el n de Manning.

El exponente del radio hidráulico en la ecuación de Manning no es una constante, si no que varía en un rango que por lo general depende de la forma y rugosidad del canal.

a) Coeficiente de rugosidad de Manning

Al aplicar la ecuación de Manning, la mayor dificultad está en determinar el coeficiente de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección de dicho valor y los factores que afectan al coeficiente de rugosidad de Manning son: La rugosidad superficial, la vegetación, las irregularidades del canal, alineamiento, sedimentación, socavación, obstrucciones, etc. (Ven Te Chow, 2004).

2.2.5. Ecuaciones teóricas para flujo uniforme

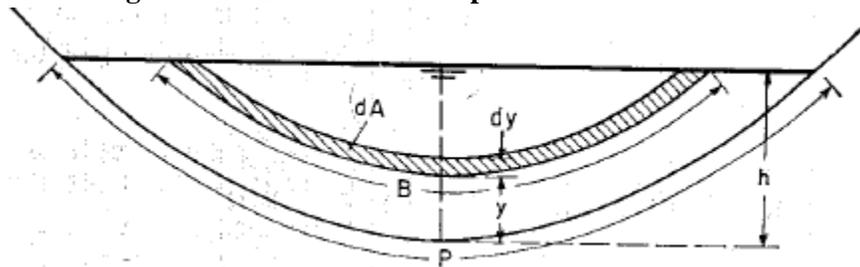
Ven Te Chow (2004) menciona que, a partir de la ley universal de distribución de velocidades de Prandtl, Keulegan, dedujo ecuaciones para la velocidad media de flujo turbulento en canales abiertos. En consideración, a la claridad y simplicidad la deducción de Keulegan que es modificado como se detallara más adelante.

Mediante la ecuación de continuidad, el caudal total a través de una sección de canal común puede escribirse como:

$$Q = V * A = \int_{\delta=0}^{y=h} V dA = \int_0^h VB dy \quad (7)$$

Donde h es la profundidad o tirante de agua, A es el área mojada, B es la longitud de la curva de igual velocidad y “y” es la profundidad vertical media desde el contorno hasta la curva de igual velocidad. Además, se supone que la velocidad máxima se encuentra en la superficie libre y que la longitud B es proporcional a su distancia vertical desde el contorno.

Figura N° 4 Sección de canal para ilustrar la notación



Fuente: Ven Te Chow, 2004

Así mismo también, nos muestra la ecuación teórica deducida para flujo uniforme para canales lisos.

$$V = V_f \left(3.25 + 5.75 \log \frac{RV_f}{\nu} \right) \quad (8)$$

Donde:

V: Es la velocidad media de flujo, V_f : Velocidad de fricción, R: Radio hidráulico y ν : Viscosidad cinemática.

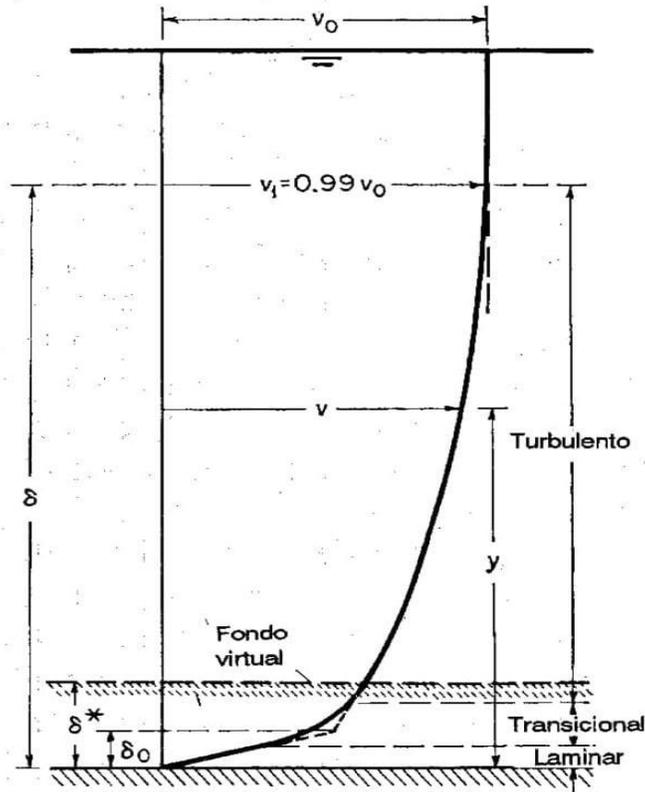
Para canales rugosos la ecuación teórica deducida para canales rugosos es:

$$V = V_f \left(6.25 + 5.75 \log \frac{R}{k} \right) \quad (9)$$

Donde:

V: Es la velocidad media de flujo, Vf: Velocidad de fricción, R: Radio hidráulico, k: Altura de rugosidad.

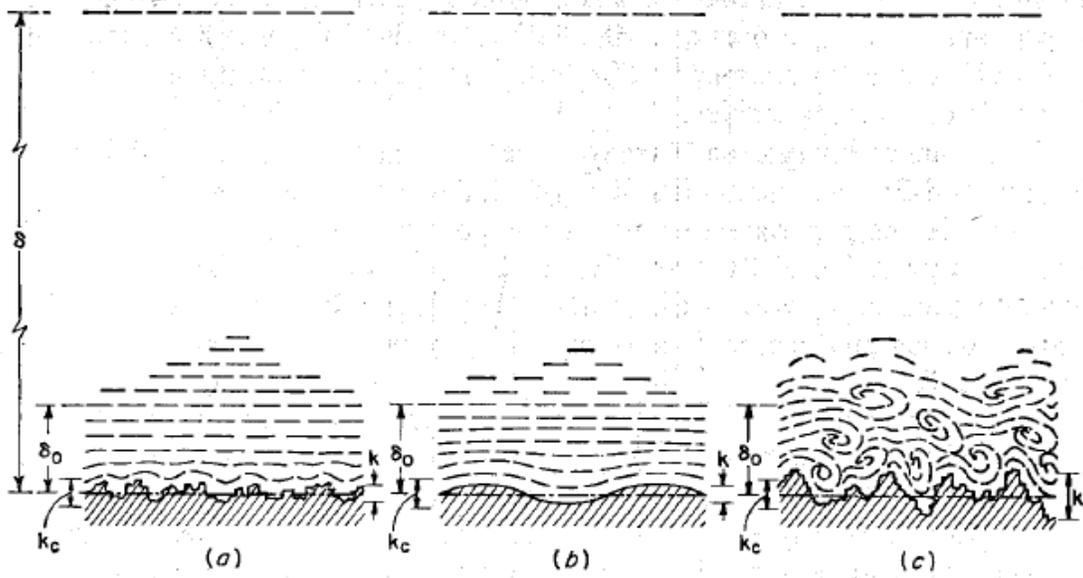
Figura N° 5 Distribución de velocidades sobre una superficie de canal liso (no a escala)



Fuente: Ven Te Chow, 2004

Ven Te Chow (2004) describe el concepto de la existencia de una subcapa laminar en la capa límite turbulenta ofrece una explicación del comportamiento de la rugosidad superficial. Cuando se aplica el perfil de la superficie del canal (Figura N° 6), puede verse que la superficie se compone de picos y valles irregulares. La altura efectiva de las irregularidades que forman los elementos de la rugosidad se conoce como altura de rugosidad k .

Figura N° 6 Naturaleza de la rugosidad superficial. (a) lisa; (b) ondulada; (c) rugosa.



Fuente: Ven Te Chow, 2004

A partir de la ecuación de Chezy, $V = C\sqrt{RS}$ y al utilizar la definición de velocidad de fricción

$V_f = \sqrt{gRS}$, puede demostrarse que:

$$\frac{V}{V_f} = \frac{C}{\sqrt{g}} \quad (10)$$

Al sustituir esta ecuación y el número de Reynolds $R = RV/v$ en las ecuaciones (5) y (6), se tiene las siguientes expresiones para el C de Chezy.

Para canales lisos:

$$C = 32.6 \log \frac{20.8R}{c} \quad (11)$$

Donde:

C: Es el coeficiente de Chezy, **R**: Es el número de Reynolds.

Para canales rugosos:

$$C = 32.6 \log \frac{12.2R}{k} \quad (12)$$

Donde:

C: Es el coeficiente de Chezy, R: Es el radio hidráulico, k es la altura de rugosidad.

Así como también Rocha (2007), indica para conductos rugosos se tiene la siguiente ecuación:

$$C = 18 \log (12.2R/k) \quad (13)$$

Donde:

C: Es el coeficiente de Chezy, R: Es el radio hidráulico, k es la altura de rugosidad.

2.2.6. Interpretación teórica del coeficiente de rugosidad de Manning

Ven Te Chow (2004) describe que es bastante interesante estudiar el n de Manning relacionándolo con la rugosidad teórica del canal para canales rugosos. Al eliminar C de las ecuaciones (06) y (12) en n de Manning puede expresarse de la siguiente manera:

$$n = \phi \left(\frac{R}{k} \right) k^{\frac{1}{6}} \quad (14)$$

Donde:

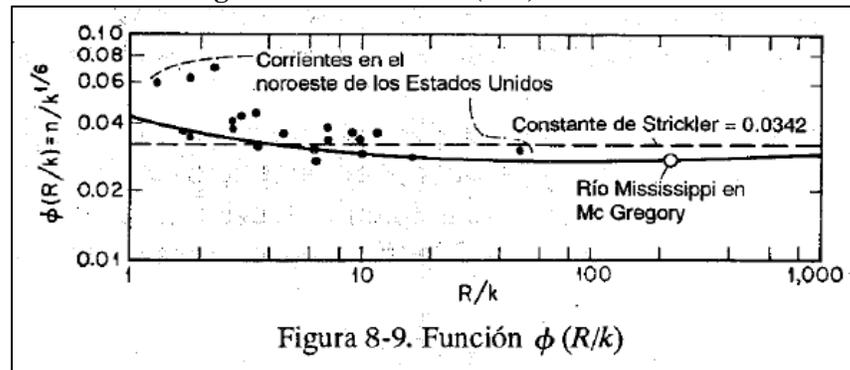
$$\phi \left(\frac{R}{k} \right) = \frac{(R/k)^{1/6}}{18 \log(12.2R/k)} \quad (15)$$

Entonces, al sustituir la ecuación 15 en la ecuación 14 resulta de la siguiente manera:

$$k = \frac{12.2R}{10 \left(\frac{R^{1/6}}{18n} \right)} \quad (16)$$

Strickler, en sus observaciones en Suiza, llegó a una ecuación al compararse con la ecuación (14) da un valor promedio de $\phi (R/k) = 0.0342$. La altura de rugosidad utilizada por Strickler es el tamaño del tamiz mediano del material, datos recolectados de algunas corrientes en el noroeste de los Estados Unidos y el río Mississippi, como se muestra en la siguiente figura.

Figura N° 7 Función $\phi(R/k)$



Fuente: Ven Te Chow, 2004

Si se supone que $\phi(R/k)$ es constante, la ecuación (14) llevara a la conclusión de que el n de Manning, varía con la potencia $1/6$ de la altura de la rugosidad.

2.2.7. Métodos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning

2.2.7.1. Método de medición de la velocidad

Ven Te Chow (2004) menciona a la ley logarítmica de distribución de velocidades expresada en la ecuación: $v = 5.75V_f \log \frac{30y}{k}$ puede verse que la distribución de velocidades depende de la altura de rugosidad, la cual puede relacionarse con el n de Manning mediante la ecuación (14).

En otras palabras, la rugosidad en términos de n de Manning puede tomarse como un factor dominante que afecta a la distribución de velocidades.

Sea $v_{0.20}$ la velocidad a $2/10$ de la profundidad, es decir a una distancia $0.8y$ desde el fondo de un canal rugoso, donde y es la profundidad de flujo, de tal manera que la velocidad puede expresarse como:

$$v_{0.2} = 5.75V_f \log \frac{24y}{k} \quad (17)$$

De igual modo, sea $v_{0.8}$ la velocidad a $8/10$ de la profundidad, entonces:

$$v_{0.8} = 5.75V_f \log \frac{6y}{k} \quad (18)$$

Al eliminar V_f en las dos ecuaciones anteriores, se tiene:

$$\log \frac{y}{k} = \frac{0.778x - 1.381}{1-x} \quad (19)$$

Donde:

$X = V_{0.2}/V_{0.8}$, al sustituir la ecuación (10) en la ecuación (09), con $R = y$, y al simplificar resulta.

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1.78(x+0.95)}{x-1} \quad (20)$$

A partir de las ecuaciones (06) y (10), con $R = y$, resulta:

$$\frac{V}{V_f} = \frac{y^{1/6}}{3.13n} \quad (21)$$

Al igualar las ecuaciones (20) y (21), se llega a resolver para n la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(x-1)y^{1/6}}{5.57(x+0.95)} \quad (22)$$

Cuando esta ecuación se aplica en corrientes reales, el valor de “ y ” puede tomarse como la profundidad media.

2.2.7.2. Método de medición de la rugosidad

Ven Te Chow (2004) menciona que en este método se supone que la ecuación (15) para la función $\phi (R/k)$ es aceptable, luego que el valor n de Manning, puede calcularse mediante la ecuación (14), cuando se conoce la altura de rugosidad.

2.2.8. Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

Ven Te Chow (2004) indica los factores que ejercen la mayor influencia sobre el coeficiente de rugosidad tanto en canales artificiales como en canales naturales se describen a continuación:

A. Rugosidad superficial. La rugosidad superficial se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. Por lo general, éste se considera como el único factor para la selección

de un coeficiente de rugosidad, pero en realidad es sólo uno de varios factores principales. En general, granos finos dan como resultado un valor relativamente bajo de n , y granos gruesos, un valor alto de n .

B. Vegetación. La vegetación puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende por completo de la altura, la densidad la distribución y del tipo de vegetación y es muy importante en el diseño de pequeños canales de drenaje.

C. Irregularidad del canal. En canales naturales, tales irregularidades por lo general son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas y depresiones y fosos y montículos en el lecho del canal. Estas irregularidades introducen rugosidad adicional a la causada por la rugosidad superficial y otros factores. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero cambios abruptos o alternaciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n .

D. Alineamiento del canal. Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el valor de n . En general, el incremento de la rugosidad en canales no revestidos que conducen agua con baja velocidad es insignificante. Un aumento de 0.002 en el valor de n constituye una provisión adecuada para la pérdida en curvas en la mayor parte de las canaletas que contengan curvaturas pronunciadas sin importar que estén construidos en concreto o en otros materiales. La presencia de meandros en corrientes naturales, sin embargo, puede incrementar el valor de n tan alto como un 30%.

E. Sedimentación y socavación. En general, la sedimentación puede cambiar un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y disminuir el n , en tanto que la socavación

puede hacer lo contrario e incrementar el n . En depósitos no uniformes, como barras de arena y ondulaciones de arena, constituyen irregularidades del canal e incrementarán la rugosidad. La cantidad y uniformidad de la socavación dependerán del material que conforma el perímetro mojado.

F. Obstrucción. La presencia de obstrucciones de troncos, pilas de puente y estructuras similares tiende a incrementar el n . La magnitud de este aumento depende de la naturaleza de las obstrucciones, de su tamaño, forma, número y distribución.

G. Tamaño y forma del canal. No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor de n . Un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el n , según la condición del canal.

H. Nivel y caudal. En la mayor parte de las corrientes el valor de n disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados, sin embargo, el valor de n puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas.

I. Cambio estacional. Debido al crecimiento de plantas acuáticas, hierbas, malezas y árboles, el valor de n puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación inactiva.

J. Material en suspensión y carga de lecho. El material en suspensión y carga de lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad.

2.2.9. Características generales de los sedimentos

Tomas Ochoa (2011) describe que, en los ríos aluviales, el flujo se mueve sobre una capa de sus propios depósitos, donde la zona de suministro de sólidos en su propia cuenca que tiene forma irregular. Las partículas grandes, particularmente las que se mueven en la zona de depósitos

aluviales y han sido trabajadas por el río, exhiben una forma semejante a una esfera o por lo menos a un elipsoide.

Las partículas de los materiales artificiales utilizados en los laboratorios, en general tienen formas irregulares y lados angulares, estas desviaciones ejercen una influencia en el peso de las partículas, como también en su resistencia al flujo, en la presión hidrodinámica, en la rugosidad del lecho, en la disposición de los materiales en el fondo, en su ángulo natural de reposo, etc.

2.2.10. Granulometría de los sedimentos

Tomas Ochoa (2011) menciona que el material de los sedimentos en condiciones naturales está compuesto por partículas de diferentes diámetros y forma una mezcla que se puede representar con una curva diferencial de granulometría o una curva integral, ambas curvas determinan su contenido porcentual en peso de las fracciones de diferentes dimensiones dentro de la mezcla.

2.2.11. Técnicas de muestreo de sedimentos en el lecho de los ríos

Tomas Ochoa (2011) menciona que, si se busca definir la resistencia hidráulica de un determinado tramo, expresada como resistencia por textura o resistencia por relieve, lo más indicado es realizar un muestreo de los materiales superficiales del lecho, dado que ellos son los responsables de aportar la rugosidad mencionada. Sin embargo, cuando se analice la resistencia por textura o por relieve el paso de una creciente es muy probable que el flujo destruya la capa superficial y, por consiguiente, también será necesario hacer un muestreo completo volumétrico de los materiales subsuperficiales, que generalmente son más finos que los superficiales, de esta manera, la granulometría superficial se usará en los análisis de resistencia hidráulica y la granulometría completa será la base para los estudios de resistencia con el paso de crecientes considerables.

El muestreo se debe realizar en todo el tramo del río en estudio y el número de muestras depende de la homogeneidad del material. El muestreo de gravas o cantos puede ser mezclado uniformemente en la zona de degradación.

Existen tres métodos para tomar muestras:

1. Toma volumétrica de muestras para realizar un análisis granulométrico por peso convencional en laboratorio.
2. Un muestreo en una cuadrícula que puede tener entre 0.5 y 0.9 m de lado.
3. Un muestreo aleatorio de partículas en una determinada distancia a lo largo de una línea recta o tomando solo aquellas partículas en las intersecciones de unos 15 m del lado mayor.

El primer método se aplica para arenas y gravas que permiten tomar una cantidad de material que pueda ser transportado hasta el laboratorio.

Los métodos 2 y 3 se aplican para materiales más gruesos, donde el conteo de las partículas grandes reemplaza al muestreo volumétrico directo.

Si con los materiales gruesos se encuentran gravas y arenas, estas últimas se analizan con el primer método y los gruesos se combinan con el segundo o tercero y luego se realiza un análisis granulométrico compuesto.

El método por conteo requiere la medición del eje intermedio de las partículas superiores a unos 13 mm, cada partícula se mide y se agrupa dentro de un tamaño apropiado o intervalo de clase y luego se desecha. Es suficiente analizar entre 75 y 100 partículas en cada muestreo.

El volumen que se toma debe ser representativo del material granular del cauce, para lo cual puede seguirse el criterio de que la mayor partícula extraída no represente más del 1% en peso de toda la muestra.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación política

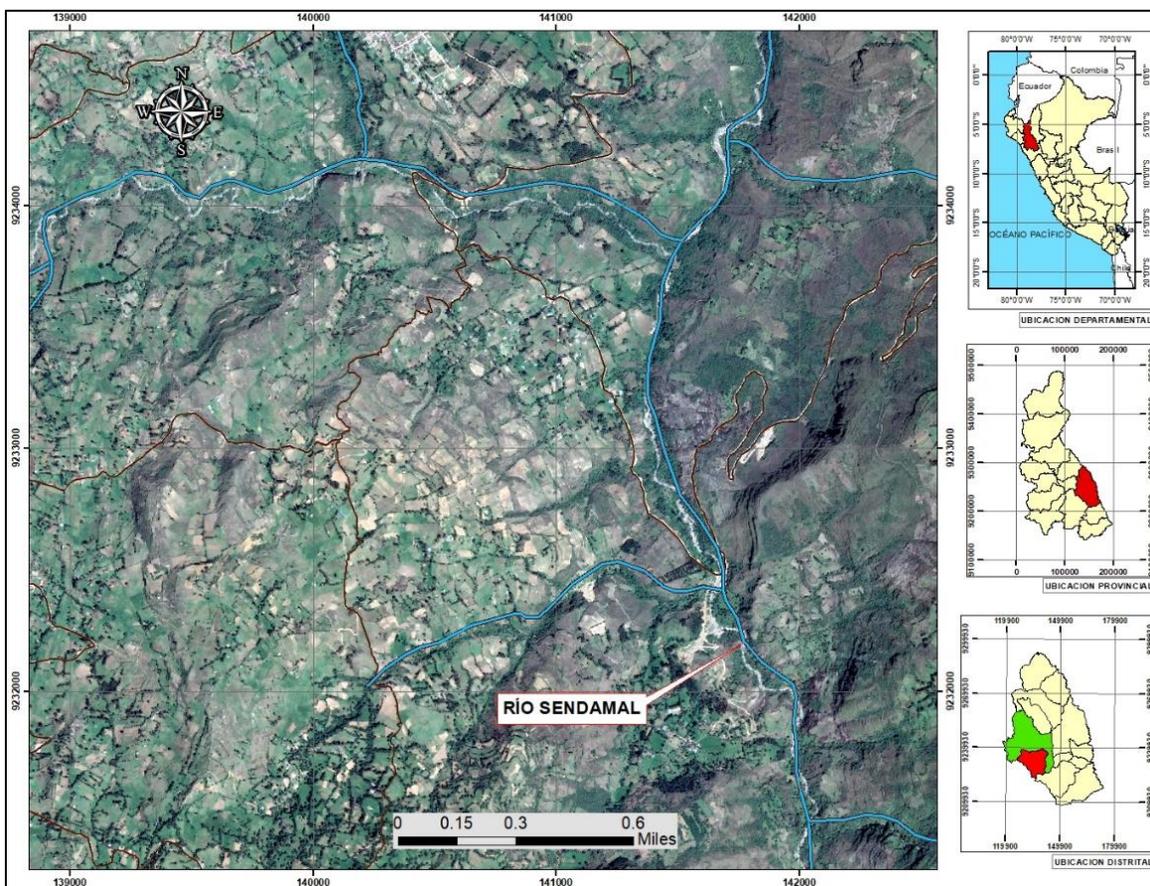
La presente investigación se realizó en el río Sendamal, que se encuentra entre los distritos Sorochuco y Huasmín, Provincia Celendín, Departamento Cajamarca.

Distritos : Sorochuco y Huasmín

Provincia : Celendín

Departamento : Cajamarca

Figura N° 8 Ubicación política de la zona de estudio



Fuente: Google Earth (2021)

3.1.2. Ubicación hidrográfica

Unidad hidrográfica : Cuenca del Río Marañón

Cuenca : Río Marañón

Vertiente : Atlántico

Tabla N° 2 Ubicación hidrográfica del río Sendamal

TRAMO	PROGRESIVA	COORDENADAS UTM WGS 84 ZONA 17 SUR		
		ESTE (m.s.n.m.)	NORTE (m.s.n.m.)	ALTITUD (m.s.n.m.)
INICIO	0+000	803458.468	9225368.692	3065.000
FINAL	27+461	804118.805	9247605.412	1600.000

3.2. ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en el río Sendamal, dicho río tiene una longitud de aproximadamente 27.461 Km.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

Los materiales utilizados en la presente investigación son:

- ✓ Wincha para la medición de las secciones transversales en los puntos de medición.
- ✓ Cordel para definir las secciones parciales en cada punto de aforo.
- ✓ Formatos de registro de datos en cada punto de aforo como: Ancho de río, velocidad y tirantes.
- ✓ Bolsas plásticas para la recolección y traslado de las muestras de suelo del material del cauce del río.
- ✓ Balanza romana de 50 kg.

3.3.2. Equipos

- ✓ Correntómetro
- ✓ GPS
- ✓ Estación total
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Balanza digital

3.4. METODOLOGÍA

Consistió en realizar los trabajos de reconocimiento de la zona de estudio, recolección de información de campo, trabajos de laboratorio de suelos y trabajos de gabinete, con la finalidad de cumplir los objetivos trazados, como se detalla a continuación.

3.4.1. Reconocimiento de la zona de estudio

La zona de estudio abarca al río Sendamal, de una longitud aproximadamente de 27.461 km y se encuentra entre las altitudes: Mínima de 1600 msnm y máxima de 3065 msnm.

Se clasificaron 07 tramos del río en estudio desde el punto de vista de la hidráulica fluvial, definiendo los puntos de aforo y toma de muestras de suelo a lo largo del río, para la ubicación de dichos puntos se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Fácil acceso para el ingreso a la toma de datos y el transporte del material del lecho del río.
- Similar homogeneidad del material del lecho del río.
- Uniformidad en el nivel de agua en la sección transversal del punto de aforo.
- Pendiente uniforme en un tramo considerable en cada punto de aforo.
- Los tirantes de agua deben ser lo suficientemente grandes para evitar la medición cerca a la capa laminar y turbulenta en las mediciones al 20 % y 80% del tirante de agua, para tener mayor estabilidad en la medición.

3.4.2. Recolección de la información de campo

Medición de la velocidad. Se realizó la medición de las velocidades en los 07 puntos considerados para la toma de datos, siguiendo el procedimiento siguiente:

- Se realizó la medición de la sección transversal del río en cada punto de aforo.
- Se realizó la división de la sección transversal del río en secciones parciales con una distancia de 0.30 m de acuerdo a la longitud total de la sección transversal del río, teniendo en cuenta las recomendaciones de Villon (2004), Pérez y Díaz (1992)
- Se realizó la medición de la velocidad al inicio y final de cada sección parcial en cada punto de aforo.
- Las mediciones de la velocidad fueron realizadas al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua a partir de la parte superior del flujo.
- Se realizaron las mediciones de las profundidades del flujo al inicio y final de cada sección parcial en cada punto de aforo.
- El equipo utilizado para el aforo (correntómetro) fue proporcionado por la escuela académico profesional de ingeniería hidráulica, facultad de ingeniería de la universidad nacional de Cajamarca.

Topografía. Para conocer la pendiente del río, se ha realizado la toma de puntos topográficos en tramos rectos que abarcan los puntos de aforo y aguas arriba de los mismos hasta una distancia donde la pendiente sea uniforme o el cambio sea bajo.

Los puntos topográficos fueron tomados utilizando la estación total Lica TS 06, equipo proporcionado por la municipalidad distrital de Sorochuco.

Para el cálculo de la pendiente de cada tramo en las estaciones de aforo, se utilizó los puntos tomados con la estación total, realizando el cálculo de la pendiente por sub tramos de acuerdo a las irregularidades de la pendiente del cauce del río.

Toma de muestras de suelo. Se realizó la toma de muestras por el método de una cuadrícula con dimensiones de 1 x 1 m, teniendo en cuenta lo siguiente:

- El material obtenido de cada estación de aforo fue extraído de la capa superficial y subsuperficial del lecho del río.
- Se tuvo en cuenta que el material obtenido sea homogéneo, donde las rocas de gran tamaño sean pesadas en campo, puesto que sus dimensiones son muy grandes y difíciles de transportar.
- La toma de muestras de suelo fue realizada en un máximo de 02 muestras por día, debido a las grandes cantidades de material obtenido, distancia y acceso del transporte vehicular para poder trasportar dichas muestras.
- Las muestras fueron recolectadas en bolsas plásticas, asegurando evitar la pérdida del material fino al momento de ser transportado.
- Para considerar los cantos y rocas de gran tamaño, se utilizó la balanza romana de 50 kg para tomar su peso y tamaño en el mismo lugar de cada punto de muestreo.

3.4.3. Trabajos de laboratorio de suelos

Granulometría. Para realizar el análisis granulométrico de las muestras, se siguió los pasos que se detalla a continuación:

- Se realizó el secado de cada una de las muestras, evitando la pérdida de material fino.
- Para el análisis granulométrico se hizo uso del laboratorio de suelos de la empresa Kaolyn Ingenieros S.A.C.

- Se realizó el tamizado de las muestras haciendo pasar por cada uno de los tamices utilizados como se muestra en las tablas del análisis granulométrico.
- Para las partículas de mayor tamaño al de la abertura de los tamices utilizados, se realizó la medición del diámetro medio de cada partícula, para posteriormente ser agrupado a un mismo tamaño con rangos de 1 pulgada, de tal manera que sea pesado de la misma manera que se realiza para el material tamizado.
- El peso de las porciones de material tamizado (agrupado por tamaños) se realizó utilizando la balanza digital de precisión.
- Para el material de cantos y rocas, se realizó la medición del diámetro medio y el peso de cada uno de ellos utilizando la balanza romana de 50 kg.

3.4.4. Trabajos de gabinete

Análisis granulométrico

- El análisis granulométrico se realizó mediante tablas con un modelo estándar con distribución de tamaños de acuerdo al tamaño de muestras obtenido en el tamizado.
- Se realizó los cálculos correspondientes, como el porcentaje parcial, porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa.
- Se realizó el cálculo del diámetro medio del material tamizado para cada una de las muestras.
- La clasificación las muestras extraídas de cada uno de los puntos de aforo, se realizó mediante el sistema SUCS y AASHTO.
- Se determinó el diámetro medio para cada muestra de suelo, considerando el material tamizado, cantos y rocas de gran tamaño pesadas en campo.

Cálculo del coeficiente de rugosidad mediante la ecuación de Manning

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad se utilizó la ecuación 05, siendo necesarios los siguientes parámetros hidráulicos:

- La velocidad promedio en cada estación de aforo. Dicha velocidad es determinada utilizando la ecuación 03, donde las velocidades al 20 y 80 % del tirante del flujo fueron obtenidos en los aforos correspondientes.
- Se elaboraron los planos de las secciones transversales de las estaciones de aforo, para determinar el área y perímetro mojado, siendo necesario para el cálculo del radio hidráulico, utilizado en la ecuación 05 de la fórmula de Manning.
- La pendiente utilizada en dicha ecuación, fue considerada la pendiente promedio del tramo para cada estación de aforo, siendo determinada mediante la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2 \quad (30)$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce, L_i : Longitud del tramo i , S_i : Pendiente del tramo i .

- Finalmente despejando n de la ecuación 05 para determinar el coeficiente de rugosidad, puede verse de la siguiente manera:

$$n = \frac{1}{v} R^{2/3} S^{1/2} \quad (31)$$

Cálculo del coeficiente de rugosidad mediante el método de medición de la velocidad

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad, se realizó utilizando la ecuación 22, siendo necesario lo siguiente:

- Tirantes del flujo obtenido en las mediciones de campo para cada estación de aforo.

- Se determinó x , siendo obtenido del cociente de las velocidades al 20% del tirante de flujo entre la velocidad al 80% del tirante de flujo.
- Se aplicó la ecuación 22 para determinar el coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad en cada estación de aforo.

Cálculo del coeficiente de rugosidad en función a la granulometría.

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad en función a la granulometría, se realizó haciendo uso de las ecuaciones 14 y 15, donde:

- El valor de R , representa el radio hidráulico para cada estación de aforo, valor obtenido del cociente del área hidráulica entre el perímetro mojado.
- Se determinó la altura de rugosidad mediante la ecuación 16 para cada punto de medición.
- Se determinó el valor de la función $\phi(\phi/k)$ mediante la ecuación 15 para cada estación de aforo.
- Según Ven Te Chow (2004) Strickler considera que k es igual al diámetro mediano del material.
- Con los parámetros determinados, aplicando las ecuaciones anteriormente descritas, se determinó el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría, considerando a “ k ” como diámetro medio del material del lecho del río.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para el estudio se consideraron 07 puntos de muestreo a lo largo del río Sendamal que se encuentra a una altitud mínima de 1600 msnm y altitud máxima de 3065 msnm, como se detalla a continuación:

Tabla N° 3 Ubicación de los puntos de muestreo

PUNTO	PROGRESIVA	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTITUD (Z)	LUGAR	
					DISTRITO	C. POBLADO
Inicio río	0+000	803458.468	9225368.692	3065.000	Sorochuco	El Punre
E - 01	3+235	804311.922	9227787.481	2891.267	Sorochuco	Llavidque
E - 02	7+597	805133.185	9231724.843	2564.652	Sorochuco	La Carpa
E - 03	10+544	804804.663	9234377.130	2382.554	Sorochuco	Sendamal
E - 04	13+262	806297.810	9236358.294	2267.458	Sorochuco	Sendamal
E - 05	16+140	805128.455	9238671.305	2079.35	Huasmín	La Lucma
E - 06	19+793	803066.638	9241101.099	1940.477	Huasmín	La Lucma
E - 07	23+647	802803.042	9244570.834	1733.514	Huasmín	Tacarpó
Final río	27+461	804118.805	9247605.412	1600.000	Huasmín	Tacarpó

- **Punto de muestreo E – 01.** Se encuentra ubicado en la progresiva 3+235 del río Sendamal, en el centro poblado Llavidque, distrito de Sorochuco a una altitud del río Sendamal de 2891.267 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.
- **Punto de muestreo E – 02.** Se encuentra ubicado en la progresiva 7+597 del río Sendamal, en el centro poblado La Carpa, distrito de Sorochuco a una altitud del río Sendamal de 2564.652 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y),

pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.

- **Punto de muestreo E – 03.** Se encuentra ubicado en la progresiva 10+544 del río Sendamal, en el centro poblado Sendamal, distrito de Sorochuco a una altitud del río Sendamal de 2382.554 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.
- **Punto de muestreo E – 04.** Se encuentra ubicado en la progresiva 13+262 del río Sendamal, en el centro poblado Sendamal, distrito de Sorochuco a una altitud del río Sendamal de 2267.458 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.
- **Punto de muestreo E – 05.** Se encuentra ubicado en la progresiva 16+140 del río Sendamal, en el centro poblado La Lucma, distrito de Huasmín a una altitud del río Sendamal de 2079.350 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.
- **Punto de muestreo E – 06.** Se encuentra ubicado en la progresiva 19+793 del río Sendamal, en el centro poblado La Lucma, distrito de Huasmín a una altitud del río Sendamal de 1940.477 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes

de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.

- **Punto de muestreo E – 07.** Se encuentra ubicado en la progresiva 23+647 del río Sendamal, en el centro poblado Tacarpo, distrito de Huasmín a una altitud del río Sendamal de 1733.514 msnm, punto donde se han realizado las mediciones de los tirantes de flujo, ancho del cauce, medición de la velocidad al 20% y 80% del tirante de flujo (0.2y, 0.8y), pendiente del tramo aguas arriba del punto de aforo y toma de muestras de suelo del material superficial y subsuperficial del lecho del río.

4.2. CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO

Tabla N° 4 Parámetros hidráulicos del río Sendamal

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL RÍO SENDAMAL							
	ANCHO DEL CAUCE (m)	PROF. DEL CAUCE (m)	COEF. DE RUGOSIDAD "n"	LONGITUD DEL RÍO (Km)	LONGITUD RECTA (Km)	SINUOSIDAD DEL RÍO	PENDIENTE MEDIA (%)
MÍNIMO	7.50	1.20	0.0306	27.461	22.230	1.24	6.31
MÁXIMO	23.50	3.50	0.0660				
PROMEDIO	15.50	2.35	0.0424				

La Microcuenca del Río Sendamal se encuentra ubicada en la cabecera de la Subcuenca del río Las Yangas o Llanguat, que es parte de la Cuenca del Río Marañón, vertiente del Atlántico.

Sus principales características hidráulicas son:

Longitud. El río Sendamal tiene una longitud de 27.461 kilómetros.

Cuenca hidrográfica. La microcuenca hidrográfica del río Sendamal tiene un área aproximada de 414.02 Km².

Caudal. De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua, el caudal medio anual del río Sendamal es de 4.524 m³/s.

Pendiente media. La pendiente media del río Sendamal es de 6.31%, considerado como una pendiente pronunciada, lo que indica que el río tiene una velocidad muy rápida y un caudal significativo, siendo característico de un río que fluye a través de terrenos montañosos.

Profundidad. Se realizaron mediciones de la profundidad del cauce en diferentes puntos del río, teniendo como resultado una profundidad mínima de 1.20 m, una profundidad máxima de 3.50, obteniendo como profundidad media del cauce de 2.35m, lo que indica que el río es poco profundo.

Ancho. Se realizaron mediciones del ancho del cauce en diferentes puntos del río, teniendo como resultado un ancho mínimo de 7.5 m y un ancho máximo de 23.5 m, dando como resultado un ancho promedio del cauce de 15.5 m.

Velocidad. Las velocidades de flujo, en promedio varía desde los 0.5 m/s hasta los 3.5 m/s.

Afluentes. El río Sendamal tiene diversos tributarios en su recorrido, como: Qdas. Otorongo, Chugurmayo y Huancrugago, por la margen izquierda; y las Qdas. Chaquima y Chalhuayacu por la margen derecha.

Características geomorfológicas. El río Sendamal, en todo su recorrido presenta meandros y curvas con una sinuosidad ligera de 1.24.

4.3. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

A continuación, se muestran los resultados de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales de los 07 puntos de muestreo considerados en el presente estudio.

Tabla N° 5 Parámetros hidráulicos de los puntos de aforo

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS PUNTOS DE AFORO					
PUNTO DE AFORO	ANCHO CAUCE	Pm (m)	A (m²)	Rh (m)	CAUDAL (m³/s)
E - 01	2.96	4.040	1.873	0.464	1.517
E - 02	2.78	3.900	1.640	0.421	1.267
E - 03	3.12	4.200	1.748	0.416	1.240
E - 04	3.43	4.450	1.871	0.420	1.182
E - 05	3.21	4.250	1.732	0.408	1.142
E - 06	3.48	4.550	2.009	0.441	1.348
E - 07	3.67	4.730	2.033	0.430	1.243

4.4. PENDIENTE DEL RÍO EN LOS TRAMOS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Según Villón (2004) la pendiente media del cauce se determina mediante la ecuación 30, como se detalla a continuación:

Tabla N° 6 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-01

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 01	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2892.017		
10.00	10.00	2891.934	0.0083	0.0911
10.00	20.00	2891.846	0.0088	0.0938
10.00	30.00	2891.773	0.0073	0.0854
10.00	40.00	2891.694	0.0079	0.0889
10.00	50.00	2891.614	0.0080	0.0894
3.81	53.81	2891.587	0.0071	0.0842
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0080	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-01 es de 0.0080, considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 53.81 m.

Tabla N° 7 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-02

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 02	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2565.169		
10.00	10.00	2565.105	0.0064	0.0800
10.00	20.00	2565.039	0.0066	0.0812
10.00	30.00	2564.972	0.0067	0.0819
10.00	40.00	2564.904	0.0068	0.0825
10.00	50.00	2564.836	0.0068	0.0825
3.77	53.77	2564.811	0.0066	0.0814
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0067	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-02 es de 0.0067, considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 53.77 m.

Tabla N° 8 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-03

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 03	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2382.812		
10.00	10.00	2382.767	0.0045	0.0671
10.00	20.00	2382.714	0.0053	0.0728
10.00	30.00	2382.67	0.0044	0.0663
10.00	40.00	2382.614	0.0056	0.0748
10.00	50.00	2382.558	0.0056	0.0748
0.77	50.77	2382.554	0.0052	0.0721
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0050	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-03 es de 0.005 considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 50.77 m.

Tabla N° 9 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-04

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 04	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2267.765		
10.00	10.00	2267.722	0.0043	0.0656
10.00	20.00	2267.676	0.0046	0.0678
10.00	30.00	2267.628	0.0048	0.0693
10.00	40.00	2267.582	0.0046	0.0678
10.00	50.00	2267.538	0.0044	0.0663
10.00	60.00	2267.492	0.0046	0.0678
0.32	60.32	2267.491	0.0031	0.0559
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0045	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-04 es de 0.0045 considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 60.32 m.

Tabla N° 10 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-05

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 05	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2079.644		
10.00	10.00	2079.613	0.0031	0.0557
10.00	20.00	2079.579	0.0034	0.0583
10.00	30.00	2079.533	0.0046	0.0678
10.00	40.00	2079.486	0.0047	0.0686
10.00	50.00	2079.437	0.0049	0.0700
4.98	54.98	2079.414	0.0046	0.0680
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0041	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-05 es de 0.0041 considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 54.98 m.

Tabla N° 11 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-06

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO		E - 06		
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	1940.725		
10.00	10.00	1940.684	0.0041	0.0640
10.00	20.00	1940.651	0.0033	0.0574
10.00	30.00	1940.62	0.0031	0.0557
10.00	40.00	1940.581	0.0039	0.0624
10.00	50.00	1940.541	0.0040	0.0632
1.90	51.90	1940.533	0.0042	0.0649
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0037	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-06 es de 0.0037 considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 51.90 m.

Tabla N° 12 Pendiente del tramo del cauce en el punto de muestreo E-07

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO		E - 07		
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	1733.732		
10.00	10.00	1733.708	0.0024	0.0490
10.00	20.00	1733.679	0.0029	0.0539
10.00	30.00	1733.650	0.0029	0.0539
10.00	40.00	1733.619	0.0031	0.0557
10.00	50.00	1733.586	0.0033	0.0574
3.58	53.58	1733.574	0.0034	0.0579
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0029	

De los resultados obtenidos, la pendiente promedio para el tramo del río en el punto de medición E-06 es de 0.0029 considerado como una pendiente baja, estos resultados definen la pendiente media del tramo del río aguas arriba desde el punto de aforo, en un tramo total de 53.58 m.

4.5. CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

a. Coeficiente de rugosidad mediante el método de la ecuación de Manning

A continuación, se presenta el coeficiente de rugosidad, determinado mediante de la ecuación de Manning (Ecuación 05), utilizando los parámetros hidráulicos para cada punto de aforo.

Tabla N° 13 Resultados del coeficiente de rugosidad por el método de la ecuación de Manning

RESUMEN DE RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD						
PUNTO DE AFORO	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA (m ²)	PERÍMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRÁULICO (m)	PENDIENTE (m/m)	n MEDIANTE LA ECUACIÓN DE MANNING
E-01	0.810	1.87	4.04	0.464	0.0080	0.066
E-02	0.772	1.64	3.90	0.421	0.0067	0.059
E-03	0.709	1.75	4.20	0.416	0.0050	0.056
E-04	0.632	1.87	4.45	0.420	0.0045	0.060
E-05	0.659	1.73	4.25	0.408	0.0041	0.053
E-06	0.671	2.01	4.55	0.441	0.0037	0.052
E-07	0.612	2.03	4.73	0.430	0.0029	0.050
PROMEDIO						0.057

El coeficiente de rugosidad, determinado por el método de la ecuación de Manning, considera los parámetros medidos en campo, como: la velocidad, área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico y pendiente media de cauce, obteniendo, así como un valor promedio de 0.057.

b. Coeficiente de rugosidad mediante el método de medición de la velocidad

A continuación, se muestra el coeficiente de rugosidad mediante el método de medición de la velocidad mediante de ecuación 22, utilizando los tirantes de flujo (y) y las velocidades al 20% y 80 % del tirante de agua del cauce de cada punto de aforo considerado.

Tabla N° 14 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-01

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.63	0.13	0.50	0.80	0.50	1.60	0.039
3	0.30	0.60	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
4	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.60	1.67	0.042
5	0.30	1.20	0.64	0.13	0.51	1.10	0.70	1.57	0.038
6	0.30	1.50	0.68	0.14	0.54	1.20	0.70	1.71	0.045
7	0.30	1.80	0.71	0.14	0.57	1.10	0.70	1.57	0.038
8	0.30	2.10	0.73	0.15	0.58	1.10	0.60	1.83	0.051
9	0.30	2.40	0.66	0.13	0.53	1.00	0.70	1.43	0.030
10	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.90	0.60	1.50	0.033
11	0.26	2.96	0.51	0.10	0.41	0.70	0.40	1.75	0.045
n PROMEDIO =								0.041	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-01, donde el ancho total de río es igual a 2.96 m, un tirante mínimo de 0.51 m y un tirante máximo de 0.73 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.041.

Tabla N° 15 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-02

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.55	0.11	0.44	0.50	0.30	1.67	0.041
2	0.30	0.30	0.54	0.11	0.43	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
4	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.70	1.43	0.030
5	0.30	1.20	0.66	0.13	0.53	1.10	0.60	1.83	0.050
6	0.30	1.50	0.71	0.14	0.57	1.20	0.80	1.50	0.035
7	0.30	1.80	0.63	0.13	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
8	0.30	2.10	0.56	0.11	0.45	1.00	0.60	1.67	0.042
9	0.30	2.40	0.52	0.10	0.42	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.57	0.11	0.46	0.80	0.60	1.33	0.024
11	0.08	2.78	0.53	0.11	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
n PROMEDIO =								0.037	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-02, donde el ancho total de río es igual a 2.78 m, un tirante mínimo de 0.52 m y un tirante máximo de 0.71 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.037.

Tabla N° 16 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-03

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.55	0.11	0.44	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.80	0.50	1.60	0.039
5	0.30	1.20	0.63	0.13	0.50	0.90	0.60	1.50	0.034
6	0.30	1.50	0.62	0.12	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
7	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	1.00	0.70	1.43	0.029
8	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	1.10	0.70	1.57	0.036
9	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.51	0.10	0.41	0.80	0.50	1.60	0.038
11	0.30	3.00	0.52	0.10	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.12	3.12	0.54	0.11	0.43	0.60	0.40	1.50	0.033
n PROMEDIO =									0.036

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-03, donde el ancho total de río es igual a 3.12 m, un tirante mínimo de 0.51 m y un tirante máximo de 0.63 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.036.

Tabla N° 17 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-04

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
3	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.40	1.75	0.045
4	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
6	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.90	0.60	1.50	0.033
7	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
8	0.30	2.10	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
9	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.56	0.11	0.45	0.80	0.50	1.60	0.038
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.40	1.75	0.045
12	0.30	3.30	0.52	0.10	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.13	3.43	0.48	0.10	0.38	0.50	0.30	1.67	0.040
n PROMEDIO =								0.038	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-04, donde el ancho total de río es igual a 3.43 m, un tirante mínimo de 0.48 m y un tirante máximo de 0.61 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.038.

Tabla N° 18 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-05

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.49	0.10	0.39	0.60	0.40	1.50	0.033
2	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.52	0.10	0.42	0.80	0.50	1.60	0.038
4	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.61	0.12	0.49	0.90	0.60	1.50	0.034
6	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
7	0.30	1.80	0.54	0.11	0.43	1.00	0.70	1.43	0.029
8	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
9	0.30	2.40	0.51	0.10	0.41	0.80	0.60	1.33	0.023
10	0.30	2.70	0.50	0.10	0.40	0.70	0.50	1.40	0.027
11	0.30	3.00	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
12	0.21	3.21	0.53	0.11	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =								0.035	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-05, donde el ancho total de río es igual a 3.21 m, un tirante mínimo de 0.49 m y un tirante máximo de 0.63 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.035.

Tabla N° 19 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-06

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	"n"
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
2	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.60	0.40	1.50	0.033
3	0.30	0.60	0.57	0.11	0.46	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.90	0.60	1.50	0.034
5	0.30	1.20	0.58	0.12	0.46	1.00	0.60	1.67	0.042
6	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	0.90	0.60	1.50	0.034
7	0.30	1.80	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
8	0.30	2.10	0.58	0.12	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
9	0.30	2.40	0.59	0.12	0.47	0.80	0.60	1.33	0.024
10	0.30	2.70	0.62	0.12	0.50	0.80	0.50	1.60	0.039
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.18	3.48	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =								0.033	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-06, donde el ancho total de río es igual a 3.48 m, un tirante mínimo de 0.51 m y un tirante máximo de 0.63 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.033.

Tabla N° 20 Cálculo del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad E-07

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUM.	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	“n”
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
2	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.50	0.40	1.25	0.018
3	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.56	0.11	0.45	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.57	0.11	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
6	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.80	0.60	1.33	0.024
7	0.30	1.80	0.53	0.11	0.42	0.90	0.60	1.50	0.033
8	0.30	2.10	0.59	0.12	0.47	0.80	0.60	1.33	0.024
9	0.30	2.40	0.61	0.12	0.49	0.80	0.50	1.60	0.039
10	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.60	0.50	1.20	0.015
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.30	3.60	0.51	0.10	0.41	0.60	0.40	1.50	0.033
14	0.07	3.67	0.52	0.10	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =								0.031	

La tabla anterior muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, estimado mediante el método de medición de la velocidad para el punto de aforo E-07, donde el ancho total de río es igual a 3.67 m, un tirante mínimo de 0.51 m y un tirante máximo de 0.61 m, obteniendo un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.031.

Tabla N° 21 Resumen de resultados del coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad

RESUMEN DE RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD		
PUNTO DE AFORO	ANCHO DEL CAUCE (m)	MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD
E - 01	2.96	0.0405
E - 02	2.78	0.0371
E - 03	3.12	0.0363
E - 04	3.43	0.0379
E - 05	3.21	0.0345
E - 06	3.48	0.0331
E - 07	3.67	0.0306
PROMEDIO		0.0357

La tabla anterior, muestra los resultados del coeficiente de rugosidad, determinado mediante el método de la medición de la velocidad, obteniendo un valor promedio de 0.0357 para el río Sendamal.

c. Coeficiente de rugosidad en función al diámetro medio.

Para estimar el coeficiente de rugosidad en función al diámetro medio, es necesario determinar la altura de rugosidad “k” y la función “ $\phi(R/K)$ ”.

A continuación, se muestra la altura de la rugosidad y la función $\phi(R/K)$, determinado mediante la ecuación 16, utilizando el coeficiente de rugosidad mediante el método de medición de la velocidad.

Tabla N° 22 Altura de rugosidad (k) y función $\phi(R/k)$

ALTURA DE RUGOSIDAD (K) Y FUNCIÓN $\phi(R/K)$					
ESTACIÓN DE AFORO	RUGOSIDAD "n"	R (m)	k (m)	R/k	$\phi (R/k)$
E - 01	0.0405	0.4637	0.3517	1.3186	0.0482
E - 02	0.0371	0.4205	0.2591	1.6232	0.0464
E - 03	0.0363	0.4162	0.2408	1.7283	0.0460
E - 04	0.0379	0.4204	0.2755	1.5263	0.0469
E - 05	0.0345	0.4076	0.2045	1.9931	0.0450
E - 06	0.0331	0.4415	0.1856	2.3784	0.0439
E - 07	0.0306	0.4297	0.1384	3.1051	0.0425
PROMEDIO					0.0456

• **Diámetros medios del material del lecho del río.**

A continuación, se presenta los diámetros medios de las muestras de suelos para cada punto de muestreo de acuerdo a los resultados presentados en el anexo de análisis granulométrico de las muestras de suelos.

Tabla N° 23 Diámetros medios de las muestras de suelo

DIÁMETROS MEDIOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO					
PUNTO DE MUESTREO	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)	DIÁMETRO MEDIO DE LOS CANTOS (mm)	DIÁMETRO MEDIO DE LAS ROCAS (mm)	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr)	DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA (mm)
E-01	188.34	240.00	315.00	934582.00	245.60
E-02	167.24	225.00	315.00	795973.00	231.33
E-03	167.81	225.00	300.00	518404.00	203.47
E-04	163.47	225.00	300.00	575568.00	202.82
E-05	139.13	215.00	300.00	603737.00	192.16
E-06	129.37	215.00	300.00	488539.00	169.94
E-07	127.02	200.00	290.00	406841.00	161.85

De la tabla anterior se observan los diámetros medios del material de suelo del lecho del río para los diferentes puntos de muestreo considerados, donde se tiene material fino y grabas determinado mediante tamizado, así mismo también se tiene material de cantos y rocas que fueron pesadas y medidas en campo.

Considerando el material tamizado, cantos y rocas, se determina el diámetro medio para cada una de las muestras de acuerdo a su porcentaje de incidencia.

4.6. VERIFICACIÓN DE LA ALTURA DE RUGOSIDAD (k) CON LOS DIÁMETROS MEDIOS

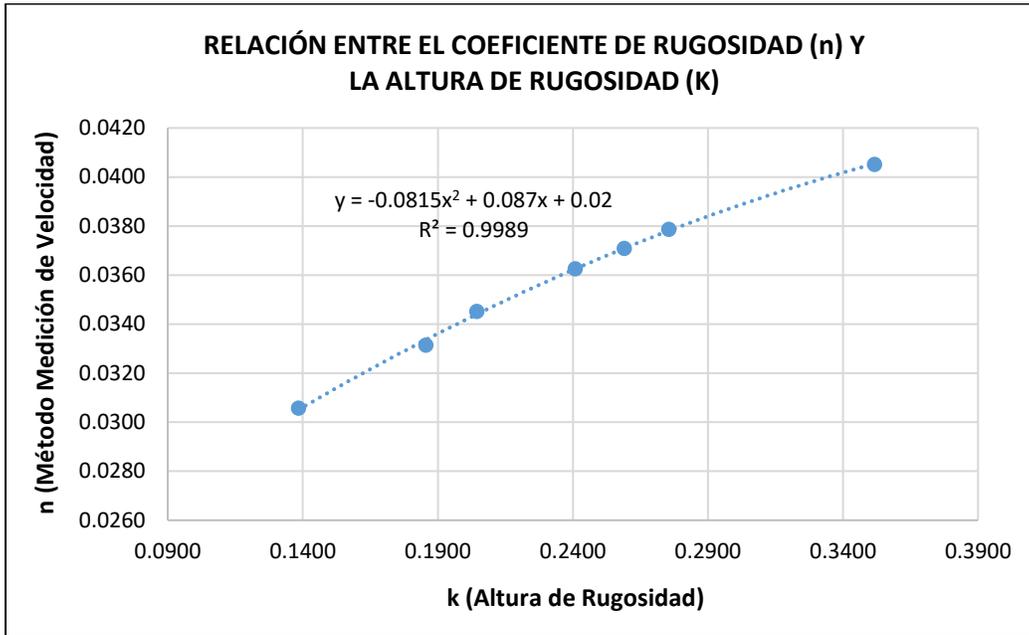
A continuación, se muestra la comparación de la altura de rugosidad con los diámetros medios de cada punto de muestreo.

Tabla N° 24 Comparación de la altura de rugosidad con los diámetros medios

PUNTO DE AFORO	k (cm)	DIÁMETRO MEDIO	
		dm (mm)	dm (Cm)
E - 01	35.1664	245.5962	24.56
E - 02	25.9064	231.3269	23.13
E - 03	24.0826	203.4664	20.35
E - 04	27.5475	202.8176	20.28
E - 05	20.4497	192.1580	19.22
E - 06	18.5623	169.9421	16.99
E - 07	13.8389	161.8475	16.18

Al hacer la comparación de la altura de la rugosidad con los diámetros medios obtenidos, se observa que la altura de rugosidad en los 07 puntos de muestreo se asemeja al diámetro medio en cada punto de muestreo del río.

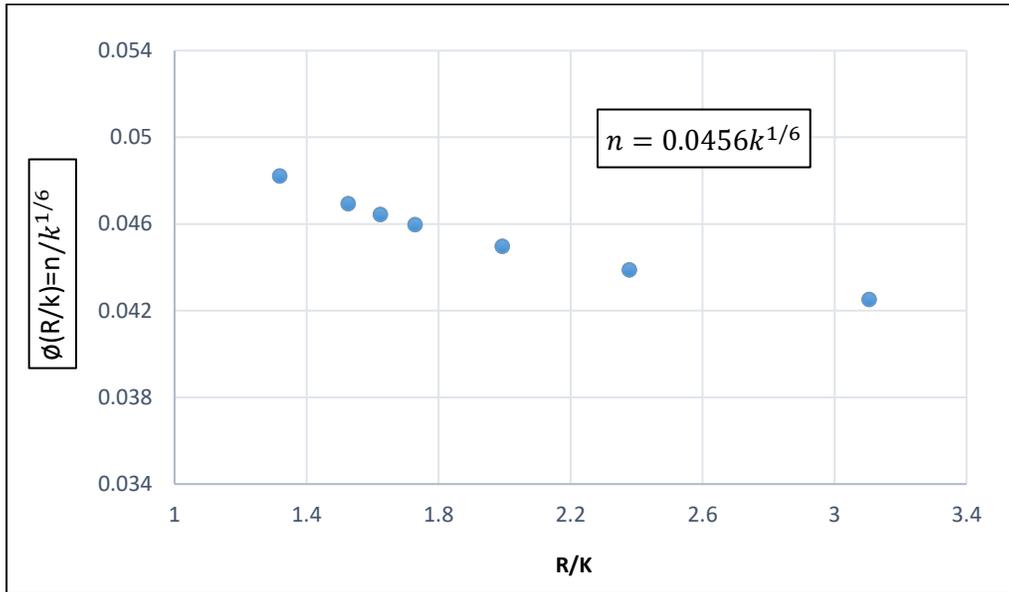
Figura N° 9 Relación entre el coeficiente de rugosidad (n) y la altura de rugosidad (k)



En el gráfico anterior se observa la relación que tiene el coeficiente de rugosidad (n) con la altura de rugosidad (k), dando como resultado un valor de $R^2 = 0.9989$, esto indica que existe una relación fuerte entre el coeficiente de rugosidad y la altura de rugosidad (k), por ello, la variación de la rugosidad en un 99.89 % lo explica la altura de la rugosidad y el 0.11 % se debe a errores presentados y a variables no considerados en el cálculo de dicho coeficiente.

De la relación entre la altura de rugosidad y el coeficiente de rugosidad por el método de medición de la velocidad, el coeficiente de determinación más alto corresponde a una ecuación polinómica $n = -0.0815k^2 + 0.087k + 0.02$.

Figura N° 10 Relación entre $\phi(R/k)$ y R/k



La grafica anterior muestra la relación entre $\phi(R/k)$ y R/k , lo que indica que para un amplio rango de R/k la variación de $\phi(R/k)$ es pequeña, de tal manera que $\phi(R/k)$ puede considerarse como un valor promedio, de esa manera la ecuación 14 queda de la siguiente manera:

$$n = 0.0456k^{1/6} \quad (32)$$

De esta manera, el coeficiente de rugosidad también puede ser determinado mediante la ecuación (32), donde el valor de k puede tomar el valor del diámetro medio de la muestra de suelo, de tal manera que la ecuación para determinar el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría, resulta siendo representada de la siguiente manera:

$$n = 0.0456d_m^{1/6} \quad (33)$$

Tabla N° 25 Coeficiente de rugosidad en función a la granulometría

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA				
PUNTO DE MUESTREO	DIÁMETRO MEDIO "dm"	DIÁMETRO MEDIO "dm"	FUNCIÓN $\phi(R/k)$	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n"
E-01	245.60 mm	0.2456 m	0.0482	0.0361
E-02	231.33 mm	0.2313 m	0.0464	0.0357
E-03	203.47 mm	0.2035 m	0.0460	0.0349
E-04	202.82 mm	0.2028 m	0.0469	0.0349
E-05	192.16 mm	0.1922 m	0.0450	0.0346
E-06	169.94 mm	0.1699 m	0.0439	0.0339
E-07	161.85 mm	0.1618 m	0.0425	0.0336
PROMEDIO			0.0456	0.0348

De los resultados obtenidos en la presente investigación, se estima el coeficiente de rugosidad en función al diámetro medio en cada puesto de medición, obteniendo un valor mínimo de 0.0336 en el punto de medición E-07 ubicado en la progresiva 23+647, un valor máximo de 0.0361 en el punto de medición E-01 ubicado en la progresiva 3+235 y un valor promedio de 0.0348.

4.7. COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

A continuación, se presenta la comparación del coeficiente de rugosidad n, por los métodos de la ecuación de Manning, medición de la velocidad y en función a la granulometría.

Tabla N° 26 Coeficientes de rugosidad de Manning por cada método de estimación

PUNTO DE AFORO	PROGRESIVA (Km)	ALTITUD (m.s.n.m.)	n		
			Ecuación Manning	Med. de la velocidad	En función a la granulometría
E - 01	3+235	2891.267	0.0660	0.0405	0.0361
E - 02	7+597	2564.652	0.0593	0.0371	0.0357
E - 03	10+544	2382.554	0.0558	0.0363	0.0349
E - 04	13+262	2267.458	0.0598	0.0379	0.0349
E - 05	16+140	2079.35	0.0533	0.0345	0.0346
E - 06	19+793	1940.477	0.0523	0.0331	0.0339
E - 07	23+647	1733.514	0.0503	0.0306	0.0336
PROMEDIO			0.0567	0.0357	0.0348

De la tabla anterior, se puede ver los valores estimados por los métodos de la ecuación de Manning, método de medición de la velocidad y en función a la granulometría (diámetro medio).

De los valores obtenidos, el coeficiente de rugosidad para el río Sendamal, por el método de la ecuación de Manning tiene un promedio de 0.0567, por el método de medición de la velocidad con un valor promedio de 0.0357 y en función a la granulometría, el valor del coeficiente de rugosidad es de 0.0348.

De los resultados obtenidos, el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría tiene un valor promedio de 0.0348, este resultado tiene un valor semejante al obtenido por el método de medición de la velocidad.

Con respecto al valor obtenido mediante la ecuación de Manning, se puede verificar que este método da como resultado un valor promedio mayor al estimado en función a la granulometría, no siendo muy significativo, ya que en algunos puntos de medición los valores son cercanos.

4.8. DISCUSIONES

Burgos Flores (2021) en su investigación en el río Chonta - Cajamarca, indica que la altura de rugosidades calculadas es similar al diámetro 30 (d30) y al diámetro 50 (d50) con un valor promedio del coeficiente de rugosidad igual a 0.0301, mientras que para esta investigación las alturas de rugosidad tienen valores similares al diámetro medio obtenido en cada punto de muestreo, al igual que los resultados del presente antecedente para algunos puntos de medición. Así mismo, el antecedente presenta la función para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría, dado por $n = 0.0438k^{1/6}$, siendo menor a la ecuación estimada en esta esta investigación $n = 0.0456k^{1/6}$ y con un valor promedio del coeficiente de rugosidad promedio de 0.0348, valor muy cercano a lo obtenido en este antecedente para el río Chonta.

Rosales (2019) en su estudio en el río Santa, Sector Recuay – Carhuaz – Ancash, obtuvo la ecuación para determinar el coeficiente de rugosidad $n = 0.047(d_{10})^{1/6}$, así como también encontró como coeficiente de rugosidad promedio de $n_{prom} = 0.040$. Para la presente investigación el coeficiente de rugosidad promedio es de 0.0348, valor similar al obtenido en el antecedente, así como también la ecuación para determinar el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría queda representada por la ecuación $n = 0.0456k^{1/6}$, siendo menor a la ecuación del presente antecedente.

Martínez y Solano (2020) en su investigación en el río Tomebamba – Ecuador, en sus resultados presenta que el cauce del río Tomebamba al pasar por zonas montañosas, los cantos rodados tienen un tamaño considerable en promedio de 0.23 metros. Los resultados obtenidos demuestran también que entre menor sea la altura del agua, mayor será el coeficiente de rugosidad, puesto que la resistencia al flujo es mayor al tener mayor contacto con las piedras del lecho del río, de tal manera que los valores del coeficiente de rugosidad obtenidos fueron 0.033, 0.035, 0.032 y 0.031, mientras que por las fórmulas que consideran además del diámetro característico a los parámetros hidráulicos en su cálculo obteniendo valores de 0.061 y 0.091, mientras que en esta investigación los cantos tienen un tamaño medio 0.22 m y el coeficiente de rugosidad promedio estimado en función al diámetro medio es de 0.0348, valor muy cercano al obtenido en esta investigación y mientras que el valor promedio estimado mediante las fórmula de Manning es de 0.0567 valor similar a los valores obtenidos en este antecedentes estimado mediante las fórmulas que utiliza los parámetros hidráulicos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Según sus características hidráulicas, el río Sendamal se clasifica por tener un caudal significativo promedio anual de 4.524 m³/s, con una pendiente pronunciada promedio de 6.31%, una profundidad del cauce que varía entre 1.20 m a 3.50 m clasificando al río como poco profundo, un ancho promedio del cauce de 15.50 considerado como un río pequeño, velocidades moderadamente rápidas que varían entre 0.5 a 3.5 m/s, presencia de meandros y curvas durante todo su recorrido con una sinuosidad de 1.24 lo que se clasifica como un río ligeramente sinuoso.
- ✓ Se identificaron y seleccionaron 07 puntos de muestreo, para la medición de sus parámetros hidráulicos de las secciones transversales de los puntos de aforo, teniendo como resultado: Ancho mínimo de flujo 2.78 m, ancho máximo de flujo 3.67 m; tirante mínimo de flujo de 0.48 m, tirante máximo de flujo de 0.73 m, tirante promedio de flujo de 0.61 m, área hidráulica mínima de 1.64 m², área hidráulica máxima de 2.033 m², área hidráulica promedio de 1.844 m², perímetro mojado mínimo de 3.90 m, perímetro mojado máximo de 4.73 m, perímetro mojado promedio de 4.303 m, pendiente mínima de 0.0029 m/m, pendiente máxima de 0.080 m/m y pendiente promedio de 0.005 m/m en los tramos de los puntos de medición.
- ✓ Se realizó la toma de muestras de suelo para cada punto de medición, en un volumen con dimensiones de 1 x 1 x 1m, entre material fino, cantos y rocas, obteniendo como diámetros medios para los 07 puntos de medición los valores de 0.25, 0.23, 0.20, 0.20, 0.19, 0.17 y 0.16 metros respectivamente.

- ✓ Se determinó los valores del coeficiente de rugosidad, por el método de la ecuación de Manning se obtuvo un valor mínimo de 0.0503, un valor máximo de 0.066 y un valor promedio de 0.0567, por el método de medición de la velocidad se obtuvo un valor mínimo de 0.0306, un valor máximo de 0.0405 y un valor promedio de 0.0357.
- ✓ Para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a los diámetros medios del material del lecho del río para los puntos de medición considerados, la ecuación queda representada por:

$$n = 0.0456(d_m)^{1/6}$$

De esta manera, el coeficiente de rugosidad en función a la granulometría del cauce del río Sendamal tuvo un valor mínimo de 0.0336, un valor máximo de 0.0361 y un valor promedio de 0.0348.

- ✓ El coeficiente de rugosidad también se puede determinar mediante la ecuación polinómica, donde k es la altura de rugosidad, representado de la siguiente manera:

$$n = -0.0815k^2 + 0.087k + 0.02.$$

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar más investigaciones sobre la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría en los ríos de alta montaña, donde los cantos y rocas de gran tamaño tienen un impacto significativo en la rugosidad.
- ✓ Se recomienda el uso de las ecuaciones obtenidas para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en función a la granulometría en el río Sendamal y en los ríos de alta montaña con similares características.
- ✓ Se recomienda implementar estaciones de aforo en los ríos, para obtener resultados con mayor precisión, para facilitar las investigaciones en ríos con presencia de grandes caudales, obteniendo un aforo de manera más precisa, evitando mayores gastos y riesgo al ingreso a ríos con grandes avenidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgos Flores, N. I. (2017) Estimación del Coeficiente de Rugosidad de Manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico en el río Chonta, Cajamarca, 2016. Cajamarca.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). 2017. Manual de medición de caudales. Guatemala. 18 p.
- Martín, J. P. (1997) Ingeniería de Ríos. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España.
- Ochoa Rubio, T. 2011. Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Ecoe ediciones. Primera edición. Bogotá. 704 p.
- Pastora Flores, D. B. (2010) Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostua.
- Pedroza Gonzales, E. (2017) El molinete, importancia, fundamentos y buenas prácticas. IMTA. México.
- Pérez, A. y Díaz, F. (1992) Manual de aforos. Instituto mexicano de tecnología del agua. México.
- Rocha Felices, A. (1998) Introducción a la Hidráulica Fluvial. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería civil. Lima, Perú.
- Rosales Cueva, J. C. (2019) Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay – Carhuaz - Áncash, 2019.
- Ven Te Chow. 2004. Hidráulica de Canales Abiertos. Editorial Nomos. Primera Edición. Santafé de Bogotá, CO. 667 p.
- Villón Béjar, M. (2005) Hidrología Estadística. Lima – Perú.

ANEXOS

ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura N° 11 Reconocimiento de la zona de estudio, río Sendamal, caserío Sendamal, Sorochuco - Celendín



Figura N° 12 Levantamiento topográfico en tramos de los puntos de aforo dentro de los caseríos el Punre, Llavidque y la Carpa (Parte alta del río Sendamal).



Figura N° 13 Levantamiento topográfico de los puntos de aforo dentro del caseríos Amarcucho y Sendamal (Parte media del río Sendamal)



Figura N° 14 Levantamiento topográfico en tramos de los puntos de aforo dentro los caseríos La Lucma y Tacarpo (Parte baja del río Sendamal)



Figura N° 15 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-01



Figura N° 16 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-02



Figura N° 17 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-03



Figura N° 18 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-04



Figura N° 19 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-05



Figura N° 20 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-06



Figura N° 21 Aforo con el equipo correntómetro en el punto de medición E-07



Figura N° 22 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-01



Figura N° 23 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-02



Figura N° 24 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-03

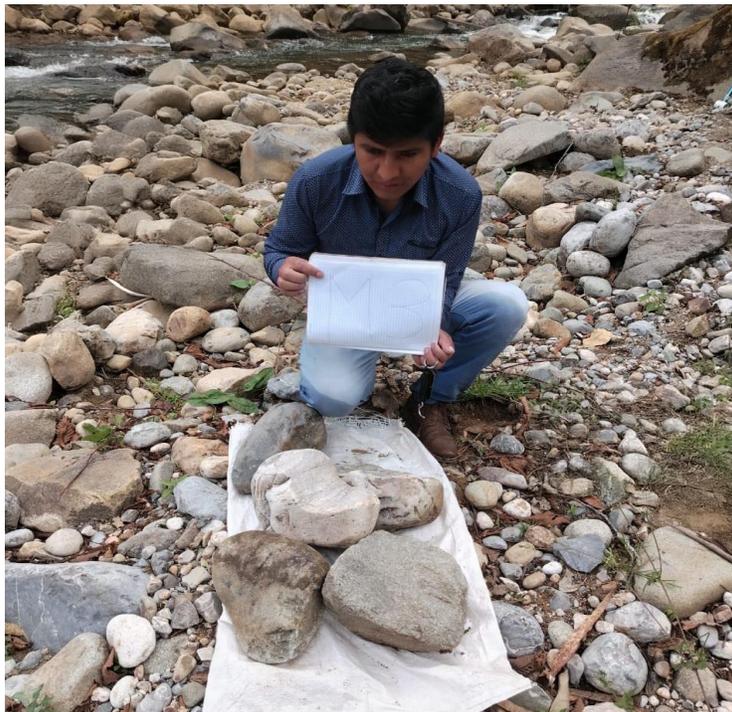


Figura N° 25 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-04



Figura N° 26 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-05



Figura N° 27 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-06



Figura N° 28 Toma de muestras de suelo en el punto de medición E-07

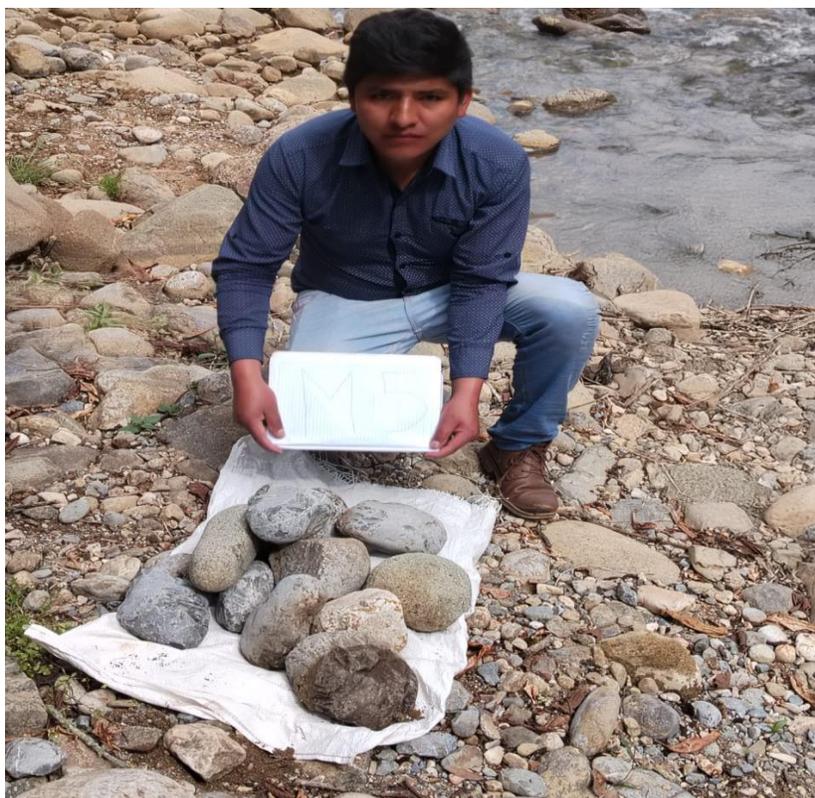


Figura N° 29 Peso de los cantos y rocas con balanza romana de 50 kg



Figura N° 30 Transporte del material de suelo



Figura N° 31 Laboratorio de suelos Kaolin Ingenieros



Figura N° 32 Tamizado de las muestras de suelo



Figura N° 33 Separación de los tamaños de las muestras de suelos, de acuerdo al tamizado



Figura N° 34 Peso de cada fracción de las muestras de suelo tamizado



ANEXO 2: DATOS DE AFORO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR: SOROCHUCO **EQUIPO:** CORRENTÓMETRO
RÍO: SENDAMAL **PROCEDE:** UNC
ESTACIÓN: E-01 **FECHA:** 07/10/2024
AFORADOR: BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ **HORA:** 8:30 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 01

N°	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	2.96	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.45	0.30
2	2.96	0.30	0.30	0.63	0.13	0.50	0.80	0.65	0.50
3	2.96	0.30	0.60	0.61	0.12	0.49	1.00	0.85	0.70
4	2.96	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.80	0.60
5	2.96	0.30	1.20	0.64	0.13	0.51	1.10	0.90	0.70
6	2.96	0.30	1.50	0.68	0.14	0.54	1.20	0.95	0.70
7	2.96	0.30	1.80	0.71	0.14	0.57	1.10	0.90	0.70
8	2.96	0.30	2.10	0.73	0.15	0.58	1.10	0.85	0.60
9	2.96	0.30	2.40	0.66	0.13	0.53	1.00	0.85	0.70
10	2.96	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.90	0.75	0.60
11	2.96	0.26	2.96	0.51	0.10	0.41	0.70	0.55	0.40

TRABAJO DE GABINETE - E 01									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	2.96	0.00	0.00	0.52	0.45				
2	2.96	0.30	0.30	0.63	0.65	0.55	0.1725	0.0949	94.88
3	2.96	0.30	0.60	0.61	0.85	0.75	0.1860	0.1395	139.50
4	2.96	0.30	0.90	0.59	0.80	0.83	0.1800	0.1485	148.50
5	2.96	0.30	1.20	0.64	0.90	0.85	0.1845	0.1568	156.83
6	2.96	0.30	1.50	0.68	0.95	0.93	0.1980	0.1832	183.15
7	2.96	0.30	1.80	0.71	0.90	0.93	0.2085	0.1929	192.86
8	2.96	0.30	2.10	0.73	0.85	0.88	0.2160	0.1890	189.00
9	2.96	0.30	2.40	0.66	0.85	0.85	0.2085	0.1772	177.23
10	2.96	0.30	2.70	0.55	0.75	0.80	0.1815	0.1452	145.20
11	2.96	0.26	2.96	0.51	0.55	0.65	0.1378	0.0896	89.57
TOTAL							1.873	1.5167	1516.71

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	SOROCHUCO	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-02	FECHA:	07/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	14:00 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 02

Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	2.78	0.00	0.00	0.55	0.11	0.44	0.50	0.40	0.30
2	2.78	0.30	0.30	0.54	0.11	0.43	0.70	0.55	0.40
3	2.78	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.80	0.65	0.50
4	2.78	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.85	0.70
5	2.78	0.30	1.20	0.66	0.13	0.53	1.10	0.85	0.60
6	2.78	0.30	1.50	0.71	0.14	0.57	1.20	1.00	0.80
7	2.78	0.30	1.80	0.63	0.13	0.50	1.10	0.90	0.70
8	2.78	0.30	2.10	0.56	0.11	0.45	1.00	0.80	0.60
9	2.78	0.30	2.40	0.52	0.10	0.42	0.90	0.75	0.60
10	2.78	0.30	2.70	0.57	0.11	0.46	0.80	0.70	0.60
11	2.78	0.08	2.78	0.53	0.11	0.42	0.60	0.50	0.40

TRABAJO DE GABINETE E - 02									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	2.78	0.00	0.00	0.55	0.40				
2	2.78	0.30	0.30	0.54	0.55	0.48	0.1635	0.0777	77.66
3	2.78	0.30	0.60	0.55	0.65	0.60	0.1635	0.0981	98.10
4	2.78	0.30	0.90	0.59	0.85	0.75	0.1710	0.1283	128.25
5	2.78	0.30	1.20	0.66	0.85	0.85	0.1875	0.1594	159.38
6	2.78	0.30	1.50	0.71	1.00	0.93	0.2055	0.1901	190.09
7	2.78	0.30	1.80	0.63	0.90	0.95	0.2010	0.1910	190.95
8	2.78	0.30	2.10	0.56	0.80	0.85	0.1785	0.1517	151.73
9	2.78	0.30	2.40	0.52	0.75	0.78	0.1620	0.1256	125.55
10	2.78	0.30	2.70	0.57	0.70	0.73	0.1635	0.1185	118.54
11	2.78	0.08	2.78	0.53	0.50	0.60	0.0440	0.0264	26.40
TOTAL							1.640	1.2666	1266.64

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	SOROCHUCO	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-03	FECHA:	08/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	9:00 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 03

Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	3.12	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.45	0.30
2	3.12	0.30	0.30	0.55	0.11	0.44	0.70	0.55	0.40
3	3.12	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.60	0.50
4	3.12	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.80	0.65	0.50
5	3.12	0.30	1.20	0.63	0.13	0.50	0.90	0.75	0.60
6	3.12	0.30	1.50	0.62	0.12	0.50	1.10	0.90	0.70
7	3.12	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	1.00	0.85	0.70
8	3.12	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	1.10	0.90	0.70
9	3.12	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.75	0.60
10	3.12	0.30	2.70	0.51	0.10	0.41	0.80	0.65	0.50
11	3.12	0.30	3.00	0.52	0.10	0.42	0.70	0.60	0.50
12	3.12	0.12	3.12	0.54	0.11	0.43	0.60	0.50	0.40

TRABAJO DE GABINETE E - 03									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	V _{prom} (m/s)	V _{area} (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m ³ /s)	CAUDAL (l/s)
1	3.12	0.00	0.00	0.53	0.45				
2	3.12	0.30	0.30	0.55	0.55	0.50	0.1620	0.0810	81.00
3	3.12	0.30	0.60	0.54	0.60	0.58	0.1635	0.0940	94.01
4	3.12	0.30	0.90	0.61	0.65	0.63	0.1725	0.1078	107.81
5	3.12	0.30	1.20	0.63	0.75	0.70	0.1860	0.1302	130.20
6	3.12	0.30	1.50	0.62	0.90	0.83	0.1875	0.1547	154.69
7	3.12	0.30	1.80	0.57	0.85	0.88	0.1785	0.1562	156.19
8	3.12	0.30	2.10	0.52	0.90	0.88	0.1635	0.1431	143.06
9	3.12	0.30	2.40	0.54	0.75	0.83	0.1590	0.1312	131.18
11	3.12	0.30	2.70	0.51	0.65	0.70	0.1575	0.1103	110.25
12	3.12	0.30	3.00	0.52	0.60	0.63	0.1545	0.0966	96.56
13	3.12	0.12	3.12	0.54	0.50	0.55	0.0636	0.0350	34.98
TOTAL							1.748	1.2399	1239.93

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	SOROCHUCO	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-04	FECHA:	08/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	13:00 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 04

Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	3.43	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.45	0.30
2	3.43	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.50	0.40	0.30
3	3.43	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.55	0.40
4	3.43	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.65	0.50
5	3.43	0.30	1.20	0.53	0.11	0.42	0.70	0.60	0.50
6	3.43	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.90	0.75	0.60
7	3.43	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	0.90	0.75	0.60
8	3.43	0.30	2.10	0.61	0.12	0.49	1.00	0.85	0.70
9	3.43	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.75	0.60
10	3.43	0.30	2.70	0.56	0.11	0.45	0.80	0.65	0.50
11	3.43	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.55	0.40
12	3.43	0.30	3.30	0.52	0.10	0.42	0.60	0.50	0.40
13	3.43	0.13	3.43	0.48	0.10	0.38	0.50	0.40	0.30

TRABAJO DE GABINETE E - 04									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	3.43	0.00	0.00	0.52	0.45				
2	3.43	0.30	0.30	0.51	0.40	0.43	0.1545	0.0657	65.66
3	3.43	0.30	0.60	0.54	0.55	0.48	0.1575	0.0748	74.81
4	3.43	0.30	0.90	0.55	0.65	0.60	0.1635	0.0981	98.10
5	3.43	0.30	1.20	0.53	0.60	0.63	0.1620	0.1013	101.25
6	3.43	0.30	1.50	0.56	0.75	0.68	0.1635	0.1104	110.36
7	3.43	0.30	1.80	0.57	0.75	0.75	0.1695	0.1271	127.13
8	3.43	0.30	2.10	0.61	0.85	0.80	0.1770	0.1416	141.60
9	3.43	0.30	2.40	0.54	0.75	0.80	0.1725	0.1380	138.00
10	3.43	0.30	2.70	0.56	0.65	0.70	0.1650	0.1155	115.50
11	3.43	0.30	3.00	0.53	0.55	0.60	0.1635	0.0981	98.10
12	3.43	0.30	3.30	0.52	0.50	0.53	0.1575	0.0827	82.69
13	3.43	0.13	3.43	0.48	0.40	0.45	0.0650	0.0293	29.25
TOTAL							1.871	1.1825	1182.45

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	HUASMÍN	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-05	FECHA:	09/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	9:30 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 05

N°	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	3.21	0.00	0.00	0.49	0.10	0.39	0.60	0.50	0.40
2	3.21	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.70	0.55	0.40
3	3.21	0.30	0.60	0.52	0.10	0.42	0.80	0.65	0.50
4	3.21	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.65	0.50
5	3.21	0.30	1.20	0.61	0.12	0.49	0.90	0.75	0.60
6	3.21	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	1.10	0.90	0.70
7	3.21	0.30	1.80	0.54	0.11	0.43	1.00	0.85	0.70
8	3.21	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	0.70	0.60	0.50
9	3.21	0.30	2.40	0.51	0.10	0.41	0.80	0.70	0.60
10	3.21	0.30	2.70	0.50	0.10	0.40	0.70	0.60	0.50
11	3.21	0.30	3.00	0.51	0.10	0.41	0.50	0.40	0.30
12	3.21	0.21	3.21	0.53	0.11	0.42	0.50	0.40	0.30

TRABAJO DE GABINETE E - 05									
N°	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	3.21	0.00	0.00	0.49	0.50				
2	3.21	0.30	0.30	0.53	0.55	0.53	0.1530	0.0803	80.33
3	3.21	0.30	0.60	0.52	0.65	0.60	0.1575	0.0945	94.50
4	3.21	0.30	0.90	0.55	0.65	0.65	0.1605	0.1043	104.33
5	3.21	0.30	1.20	0.61	0.75	0.70	0.1740	0.1218	121.80
6	3.21	0.30	1.50	0.63	0.90	0.83	0.1860	0.1535	153.45
7	3.21	0.30	1.80	0.54	0.85	0.88	0.1755	0.1536	153.56
8	3.21	0.30	2.10	0.52	0.60	0.73	0.1590	0.1153	115.28
9	3.21	0.30	2.40	0.51	0.70	0.65	0.1545	0.1004	100.43
10	3.21	0.30	2.70	0.5	0.60	0.65	0.1515	0.0985	98.48
11	3.21	0.30	3.00	0.51	0.40	0.50	0.1515	0.0758	75.75
12	3.21	0.21	3.21	0.53	0.40	0.40	0.1092	0.0437	43.68
TOTAL							1.732	1.1416	1141.57

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	HUASMÍN	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-06	FECHA:	09/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	2:00 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 06

Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	3.48	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.50	0.40
2	3.48	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.60	0.50	0.40
3	3.48	0.30	0.60	0.57	0.11	0.46	0.70	0.60	0.50
4	3.48	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.90	0.75	0.60
5	3.48	0.30	1.20	0.58	0.12	0.46	1.00	0.80	0.60
6	3.48	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	0.90	0.75	0.60
7	3.48	0.30	1.80	0.61	0.12	0.49	1.00	0.85	0.70
8	3.48	0.30	2.10	0.58	0.12	0.46	0.90	0.75	0.60
9	3.48	0.30	2.40	0.59	0.12	0.47	0.80	0.70	0.60
10	3.48	0.30	2.70	0.62	0.12	0.50	0.80	0.65	0.50
11	3.48	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.60	0.50
12	3.48	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.50	0.40
13	3.48	0.18	3.48	0.51	0.10	0.41	0.50	0.40	0.30

TRABAJO DE GABINETE E - 06									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	3.48	0.00	0.00	0.53	0.50				
2	3.48	0.30	0.30	0.51	0.50	0.50	0.1560	0.0780	78.00
3	3.48	0.30	0.60	0.57	0.60	0.55	0.1620	0.0891	89.10
4	3.48	0.30	0.90	0.61	0.75	0.68	0.1770	0.1195	119.48
5	3.48	0.30	1.20	0.58	0.80	0.78	0.1785	0.1383	138.34
6	3.48	0.30	1.50	0.63	0.75	0.78	0.1815	0.1407	140.66
7	3.48	0.30	1.80	0.61	0.85	0.80	0.1860	0.1488	148.80
8	3.48	0.30	2.10	0.58	0.75	0.80	0.1785	0.1428	142.80
9	3.48	0.30	2.40	0.59	0.70	0.73	0.1755	0.1272	127.24
10	3.48	0.30	2.70	0.62	0.65	0.68	0.1815	0.1225	122.51
11	3.48	0.30	3.00	0.53	0.60	0.63	0.1725	0.1078	107.81
12	3.48	0.30	3.30	0.56	0.50	0.55	0.1635	0.0899	89.93
13	3.48	0.18	3.48	0.51	0.40	0.45	0.0963	0.0433	43.34
TOTAL							2.009	1.3480	1348.00

AFORO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

LUGAR:	HUASMÍN	EQUIPO:	CORRENTÓMETRO
RÍO:	SENDAMAL	PROCEDE:	UNC
ESTACIÓN:	E-07	FECHA:	10/10/2024
AFORADOR:	BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ	HORA:	10:00 horas

TRABAJO DE CAMPO E - 07

N°	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m)		VELOCIDAD EN CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN (m/s)		
					0.20y	0.80y	0.20 y	0.60 y	0.80 y
1	3.67	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.50	0.40	0.30
2	3.67	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.50	0.45	0.40
3	3.67	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.70	0.60	0.50
4	3.67	0.30	0.90	0.56	0.11	0.45	0.80	0.65	0.50
5	3.67	0.30	1.20	0.57	0.11	0.46	0.90	0.75	0.60
6	3.67	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.80	0.70	0.60
7	3.67	0.30	1.80	0.53	0.11	0.42	0.90	0.75	0.60
8	3.67	0.30	2.10	0.59	0.12	0.47	0.80	0.70	0.60
9	3.67	0.30	2.40	0.61	0.12	0.49	0.80	0.65	0.50
10	3.67	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.60	0.55	0.50
11	3.67	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.60	0.50
12	3.67	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.50	0.40
13	3.67	0.30	3.60	0.51	0.10	0.41	0.60	0.50	0.40
14	3.67	0.07	3.67	0.52	0.10	0.42	0.50	0.40	0.30

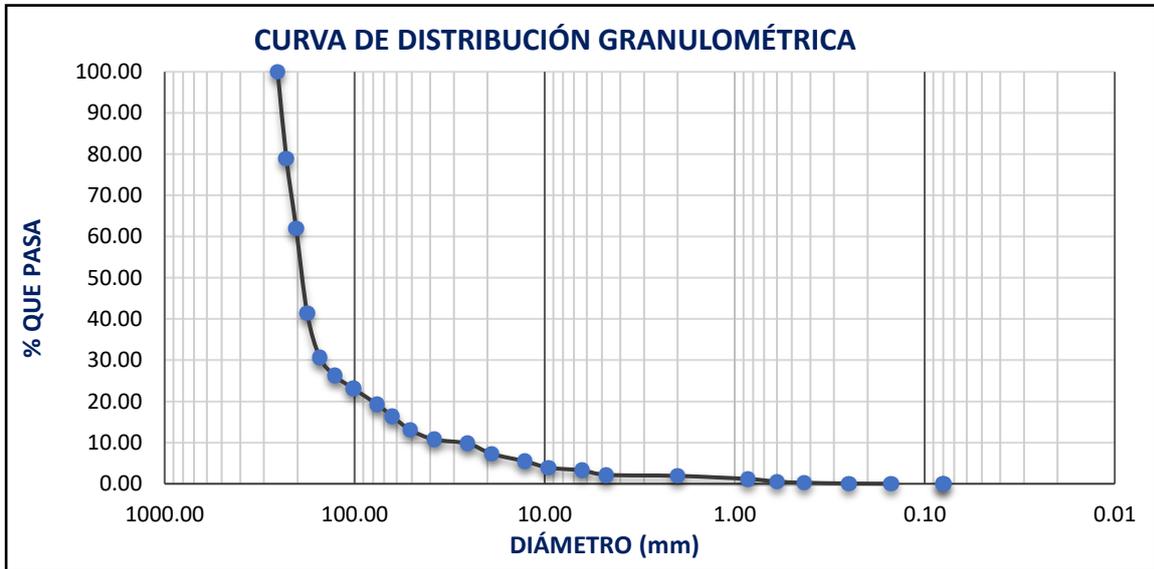
TRABAJO DE GABINETE E - 07									
Nº	ANCHO DEL CAUCE (m)	EQUIDISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	TIRANTE (m)	Vprom (m/s)	V area (m/s)	AREA (m)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)
1	3.67	0.00	0.00	0.52	0.40				
2	3.67	0.30	0.30	0.53	0.45	0.43	0.1575	0.0669	66.94
3	3.67	0.30	0.60	0.55	0.60	0.53	0.1620	0.0851	85.05
4	3.67	0.30	0.90	0.56	0.65	0.63	0.1665	0.1041	104.06
5	3.67	0.30	1.20	0.57	0.75	0.70	0.1695	0.1187	118.65
6	3.67	0.30	1.50	0.56	0.70	0.73	0.1695	0.1229	122.89
7	3.67	0.30	1.80	0.53	0.75	0.73	0.1635	0.1185	118.54
8	3.67	0.30	2.10	0.59	0.70	0.73	0.1680	0.1218	121.80
9	3.67	0.30	2.40	0.61	0.65	0.68	0.1800	0.1215	121.50
10	3.67	0.30	2.70	0.55	0.55	0.60	0.1740	0.1044	104.40
11	3.67	0.30	3.00	0.53	0.60	0.58	0.1620	0.0932	93.15
12	3.67	0.30	3.30	0.56	0.50	0.55	0.1635	0.0899	89.93
13	3.67	0.30	3.60	0.51	0.50	0.50	0.1605	0.0803	80.25
14	3.67	0.07	3.67	0.52	0.40	0.45	0.0361	0.0162	16.22
TOTAL							2.033	1.2434	1243.37

ANEXO 3: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 01					
MUESTRA	M - 01	PESO INICIAL	396,282.00 gr		
PUNTO	E - 01	PESO TAMIZADO	396,282.00 gr		
PROGRESIVA	3+235	CALICATA	Río Sendamal		
FECHA	07/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial		
		PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
TAMIZ N°	Abertura (mm)	Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
10"	254.00	0.00	0.00	0.00	100.00
9"	228.60	83398.00	21.05	21.05	78.95
8"	203.20	67043.00	16.92	37.96	62.04
7"	177.80	81527.00	20.57	58.54	41.46
6"	152.40	42741.00	10.79	69.32	30.68
5"	127.00	17715.00	4.47	73.79	26.21
4"	101.60	12271.00	3.10	76.89	23.11
3"	76.20	15162.00	3.83	80.71	19.29
2 1/2"	63.50	11392.00	2.87	83.59	16.41
2"	50.80	13362.00	3.37	86.96	13.04
1 1/2"	38.10	9032.00	2.28	89.24	10.76
1"	25.40	3863.00	0.97	90.22	9.78
3/4"	19.05	9857.00	2.49	92.70	7.30
1/2"	12.70	7305.00	1.84	94.55	5.45
3/8"	9.53	6074.00	1.53	96.08	3.92
1/4"	6.35	2658.00	0.67	96.75	3.25
N°4	4.75	4295.00	1.08	97.83	2.17
N°10	2.00	962.00	0.24	98.08	1.92
N°20	0.85	3029.00	0.76	98.84	1.16
N°30	0.60	2510.00	0.63	99.47	0.53
N°40	0.43	1105.00	0.28	99.75	0.25
N°60	0.25	696.00	0.18	99.93	0.07
N°100	0.15	180.00	0.05	99.97	0.03
N°200	0.08	105.00	0.03	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		396282.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	97.8%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	2.2%	
Cu = 7.12	Cc = 3.9	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 188.34



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	230 - 250	240	195600
ROCAS	250- 380	315	342700
TOTAL			538300

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 934582.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	396282.00	188.34	0.42
CANTOS	195600.00	240.00	0.21
ROCAS	342700.00	315.00	0.37
TOTAL	934582.00	743.34	1.00

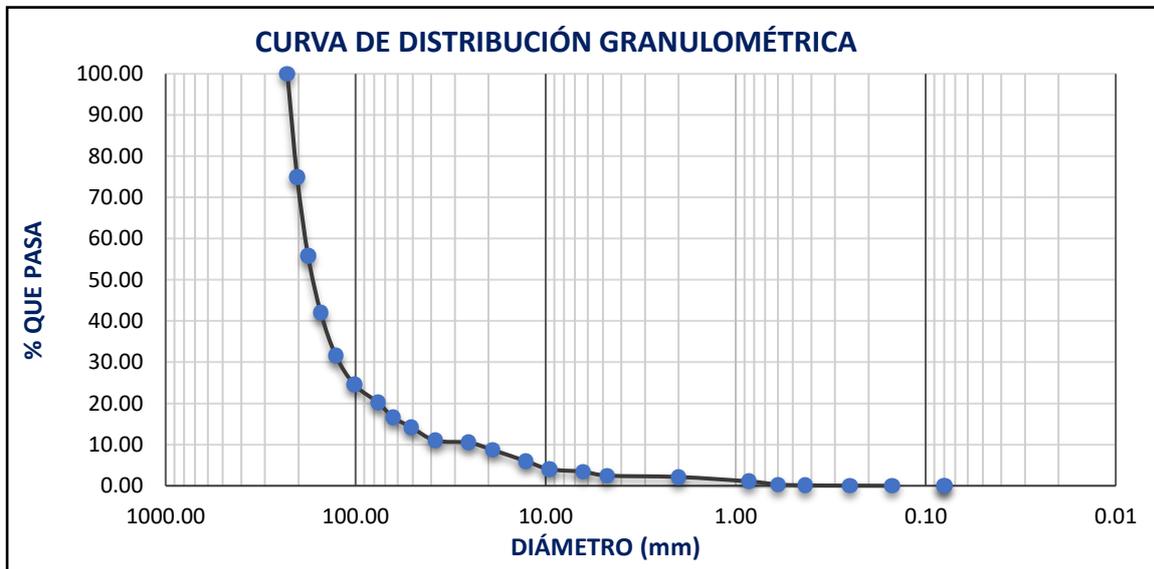
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 245.60 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 02			
MUESTRA	M - 02	PESO INICIAL	357,173.00 gr
PUNTO	E - 02	PESO TAMIZADO	357,173.00 gr
PROGRESIVA	7+597	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	07/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
9"	228.60	0.00	0.00	0.00	100.00
8"	203.20	89284.00	25.00	25.00	75.00
7"	177.80	68827.00	19.27	44.27	55.73
6"	152.40	49228.00	13.78	58.05	41.95
5"	127.00	37063.00	10.38	68.43	31.57
4"	101.60	24949.00	6.99	75.41	24.59
3"	76.20	15814.00	4.43	79.84	20.16
2 1/2"	63.50	12527.00	3.51	83.35	16.65
2"	50.80	8952.00	2.51	85.85	14.15
1 1/2"	38.10	11284.00	3.16	89.01	10.99
1"	25.40	1835.00	0.51	89.53	10.47
3/4"	19.05	6244.00	1.75	91.27	8.73
1/2"	12.70	9811.00	2.75	94.02	5.98
3/8"	9.53	7013.00	1.96	95.98	4.02
1/4"	6.35	2096.00	0.59	96.57	3.43
N°4	4.75	3424.00	0.96	97.53	2.47
N°10	2.00	1175.00	0.33	97.86	2.14
N°20	0.85	3852.00	1.08	98.94	1.06
N°30	0.60	2738.00	0.77	99.70	0.30
N°40	0.43	691.00	0.19	99.90	0.10
N°60	0.25	192.00	0.05	99.95	0.05
N°100	0.15	113.00	0.03	99.98	0.02
N°200	0.08	61.00	0.02	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		357173.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	97.5%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	2.5%	
Cu = 7.75	Cc = 3.39	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 167.24



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	200 - 250	225	153600
ROCAS	250- 380	315	285200
TOTAL			438800

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 795973.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	357173.00	167.24	0.45
CANTOS	153600.00	225.00	0.19
ROCAS	285200.00	315.00	0.36
TOTAL	795973.00	707.24	1.00

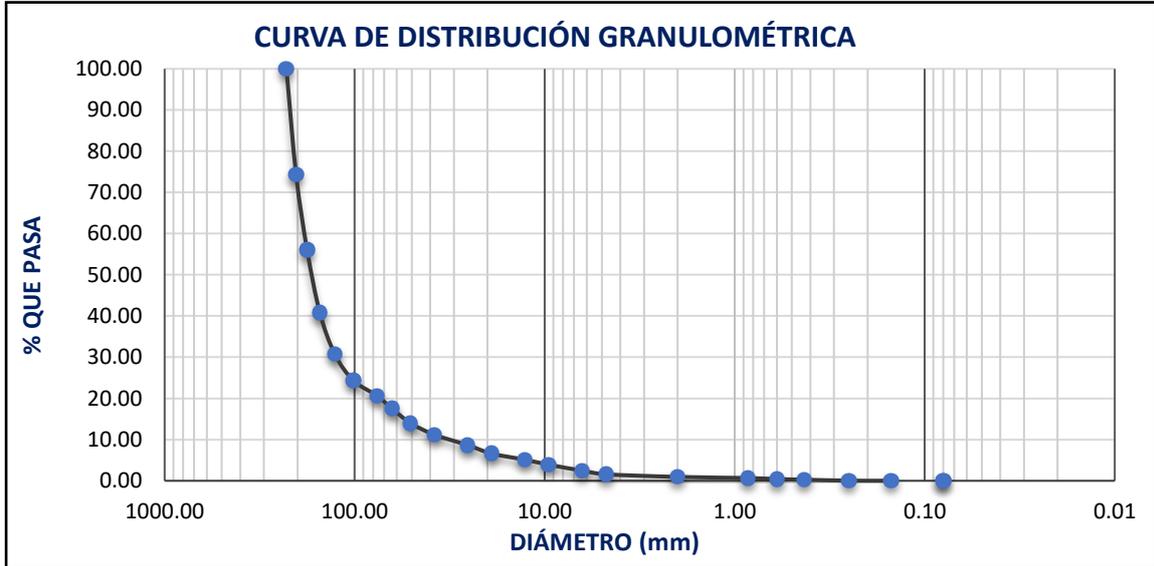
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 231.33 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 03			
MUESTRA	M - 03	PESO INICIAL	309,704.00 gr
PUNTO	E - 03	PESO TAMIZADO	309,704.00 gr
PROGRESIVA	10+544	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	08/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
9"	228.60	0.00	0.00	0.00	100.00
8"	203.20	79712.00	25.74	25.74	74.26
7"	177.80	56638.00	18.29	44.03	55.97
6"	152.40	47063.00	15.20	59.22	40.78
5"	127.00	31185.00	10.07	69.29	30.71
4"	101.60	19629.00	6.34	75.63	24.37
3"	76.20	11624.00	3.75	79.38	20.62
2 1/2"	63.50	9582.00	3.09	82.48	17.52
2"	50.80	10973.00	3.54	86.02	13.98
1 1/2"	38.10	8627.00	2.79	88.81	11.19
1"	25.40	7862.00	2.54	91.34	8.66
3/4"	19.05	6318.00	2.04	93.38	6.62
1/2"	12.70	4673.00	1.51	94.89	5.11
3/8"	9.53	3723.00	1.20	96.09	3.91
1/4"	6.35	4482.00	1.45	97.54	2.46
N°4	4.75	2741.00	0.89	98.43	1.57
N°10	2.00	1953.00	0.63	99.06	0.94
N°20	0.85	863.00	0.28	99.34	0.66
N°30	0.60	752.00	0.24	99.58	0.42
N°40	0.43	486.00	0.16	99.74	0.26
N°60	0.25	719.00	0.23	99.97	0.03
N°100	0.15	51.00	0.02	99.98	0.02
N°200	0.08	48.00	0.02	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		309704.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	98.4%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	1.6%	
Cu = 8.01	Cc = 3.67	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 167.81



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	200 - 250	225	121400
ROCAS	250- 350	300	87300
TOTAL			208700

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 518404.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	309704.00	167.81	0.60
CANTOS	121400.00	225.00	0.23
ROCAS	87300.00	300.00	0.17
TOTAL	518404.00	692.81	1.00

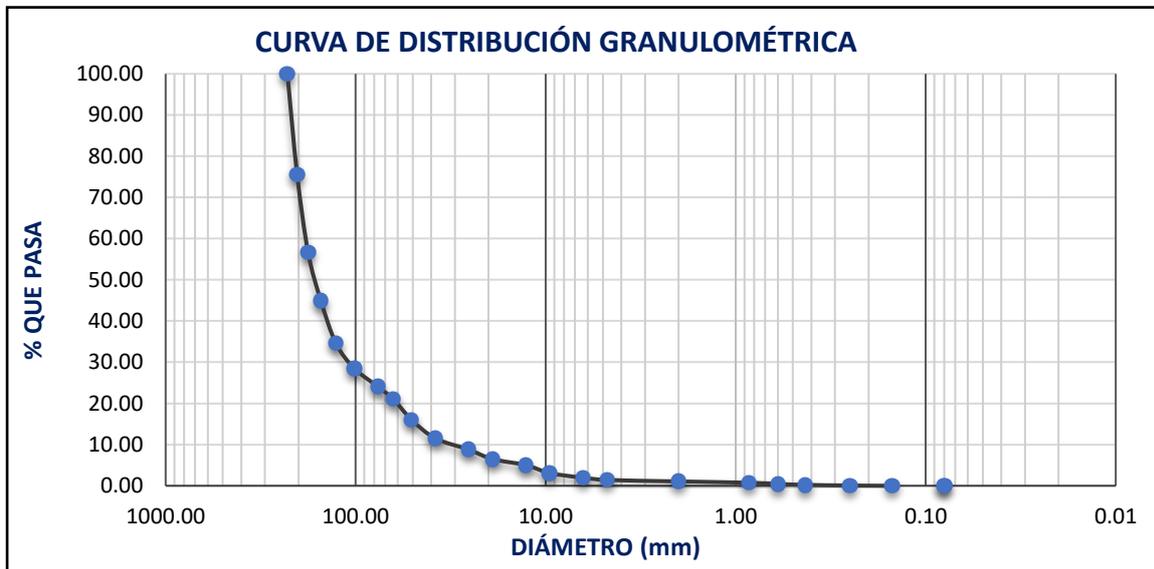
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 203.47 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 04			
MUESTRA	M - 04	PESO INICIAL	325,968.00 gr
PUNTO	E - 04	PESO TAMIZADO	325,968.00 gr
PROGRESIVA	13+262	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	08/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
9"	228.60	0.00	0.00	0.00	100.00
8"	203.20	79692.00	24.45	24.45	75.55
7"	177.80	61834.00	18.97	43.42	56.58
6"	152.40	38029.00	11.67	55.08	44.92
5"	127.00	33637.00	10.32	65.40	34.60
4"	101.60	19862.00	6.09	71.50	28.50
3"	76.20	14562.00	4.47	75.96	24.04
2 1/2"	63.50	9627.00	2.95	78.92	21.08
2"	50.80	16477.00	5.05	83.97	16.03
1 1/2"	38.10	14681.00	4.50	88.48	11.52
1"	25.40	8953.00	2.75	91.22	8.78
3/4"	19.05	7468.00	2.29	93.51	6.49
1/2"	12.70	4823.00	1.48	94.99	5.01
3/8"	9.53	6239.00	1.91	96.91	3.09
1/4"	6.35	3742.00	1.15	98.05	1.95
N°4	4.75	1745.00	0.54	98.59	1.41
N°10	2.00	1158.00	0.36	98.94	1.06
N°20	0.85	1015.00	0.31	99.26	0.74
N°30	0.60	951.00	0.29	99.55	0.45
N°40	0.43	762.00	0.23	99.78	0.22
N°60	0.25	476.00	0.15	99.93	0.07
N°100	0.15	206.00	0.06	99.99	0.01
N°200	0.08	29.00	0.01	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		325968.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	98.6%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	1.4%	
Cu = 5.87	Cc = 2.05	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 163.47



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	200 - 250	225	152400
ROCAS	250- 350	300	97200
TOTAL			249600

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 575568.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	325968.00	163.47	0.57
CANTOS	152400.00	225.00	0.26
ROCAS	97200.00	300.00	0.17
TOTAL	575568.00	688.47	1.00

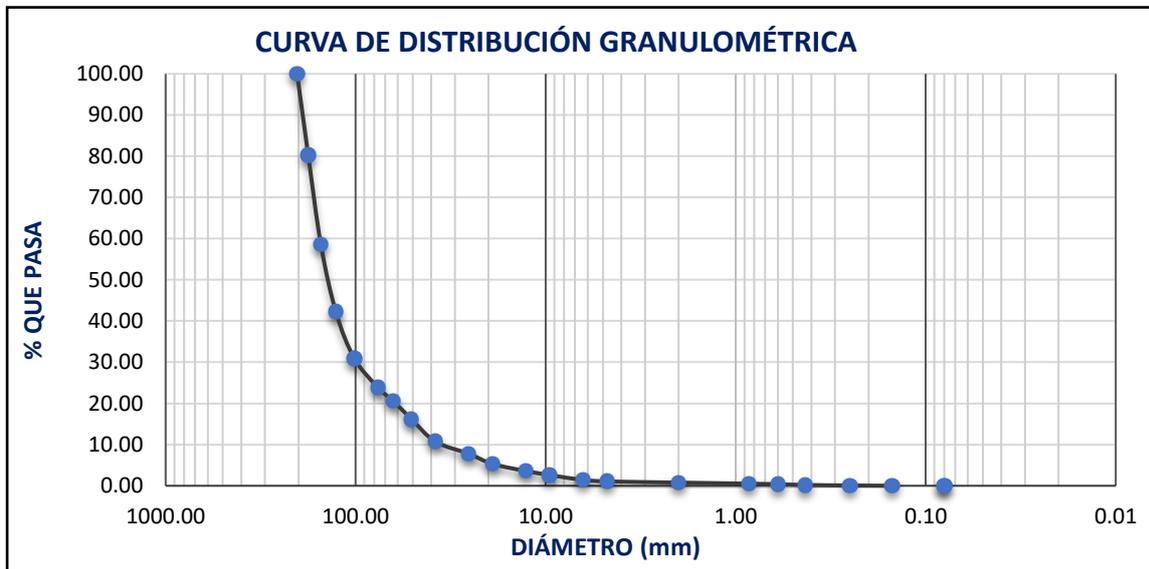
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 202.82 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 05			
MUESTRA	M - 05	PESO INICIAL	301,637.00 gr
PUNTO	E - 05	PESO TAMIZADO	301,637.00 gr
PROGRESIVA	16+140	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	09/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
8"	203.20	0.00	0.00	0.00	100.00
7"	177.80	59284.00	19.65	19.65	80.35
6"	152.40	65718.00	21.79	41.44	58.56
5"	127.00	49411.00	16.38	57.82	42.18
4"	101.60	33967.00	11.26	69.08	30.92
3"	76.20	21426.00	7.10	76.19	23.81
2 1/2"	63.50	9728.00	3.23	79.41	20.59
2"	50.80	13371.00	4.43	83.84	16.16
1 1/2"	38.10	16384.00	5.43	89.28	10.72
1"	25.40	8931.00	2.96	92.24	7.76
3/4"	19.05	7396.00	2.45	94.69	5.31
1/2"	12.70	5225.00	1.73	96.42	3.58
3/8"	9.53	2917.00	0.97	97.39	2.61
1/4"	6.35	3643.00	1.21	98.60	1.40
N°4	4.75	1052.00	0.35	98.94	1.06
N°10	2.00	856.00	0.28	99.23	0.77
N°20	0.85	792.00	0.26	99.49	0.51
N°30	0.60	418.00	0.14	99.63	0.37
N°40	0.43	521.00	0.17	99.80	0.20
N°60	0.25	372.00	0.12	99.93	0.07
N°100	0.15	153.00	0.05	99.98	0.02
N°200	0.08	72.00	0.02	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		301637.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	98.9%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	1.1%	
Cu = 4.4	Cc = 1.79	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 139.13



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	180 - 250	215	195100
ROCAS	250- 350	300	107000
TOTAL			302100

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 603737.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	301637.00	139.13	0.50
CANTOS	195100.00	215.00	0.32
ROCAS	107000.00	300.00	0.18
TOTAL	603737.00	654.13	1.00

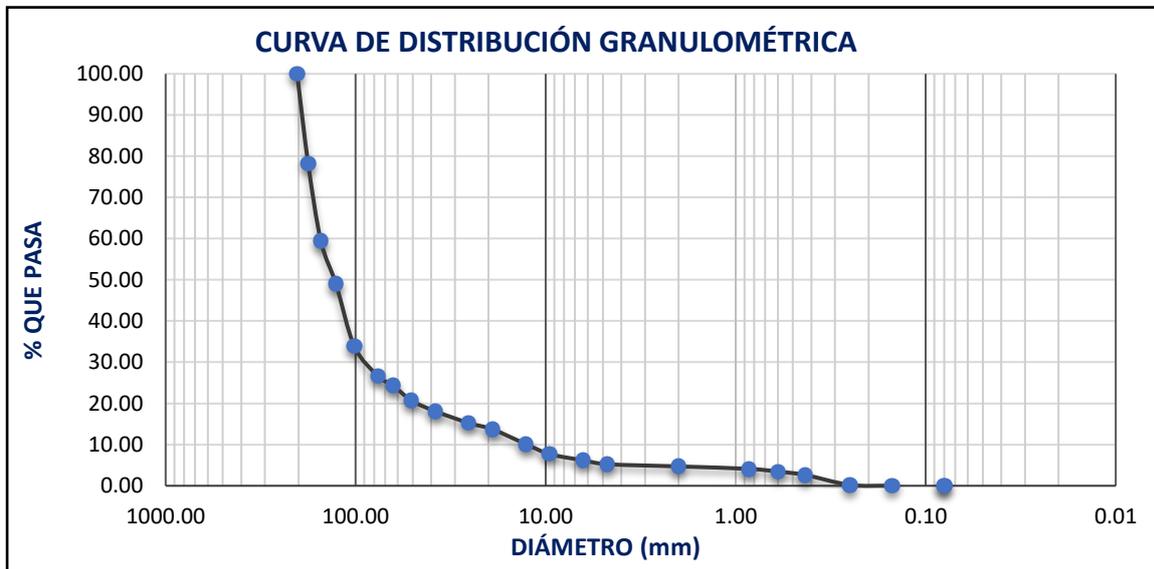
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 192.16 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 06			
MUESTRA	M - 06	PESO INICIAL	326,339.00 gr
PUNTO	E - 06	PESO TAMIZADO	326,339.00 gr
PROGRESIVA	19+793	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	09/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
8"	203.20	0.00	0.00	0.00	100.00
7"	177.80	71152.00	21.80	21.80	78.20
6"	152.40	61237.00	18.76	40.57	59.43
5"	127.00	33943.00	10.40	50.97	49.03
4"	101.60	49429.00	15.15	66.12	33.88
3"	76.20	23738.00	7.27	73.39	26.61
2 1/2"	63.50	7421.00	2.27	75.66	24.34
2"	50.80	11924.00	3.65	79.32	20.68
1 1/2"	38.10	8447.00	2.59	81.91	18.09
1"	25.40	9335.00	2.86	84.77	15.23
3/4"	19.05	4974.00	1.52	86.29	13.71
1/2"	12.70	11752.00	3.60	89.89	10.11
3/8"	9.53	7867.00	2.41	92.30	7.70
1/4"	6.35	4956.00	1.52	93.82	6.18
N°4	4.75	3073.00	0.94	94.76	5.24
N°10	2.00	1754.00	0.54	95.30	4.70
N°20	0.85	1938.00	0.59	95.89	4.11
N°30	0.60	2109.00	0.65	96.54	3.46
N°40	0.43	2758.00	0.85	97.39	2.61
N°60	0.25	7841.00	2.40	99.79	0.21
N°100	0.15	567.00	0.17	99.96	0.04
N°200	0.08	124.00	0.04	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		326339.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	94.8%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	5.2%	
Cu = 12.25	Cc = 4.01	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 129.37



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	180 - 250	215	92400
ROCAS	250 - 350	300	69800
TOTAL			162200

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 488539.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	326339.00	129.37	0.67
CANTOS	92400.00	215.00	0.19
ROCAS	69800.00	300.00	0.14
TOTAL	488539.00	644.37	1.00

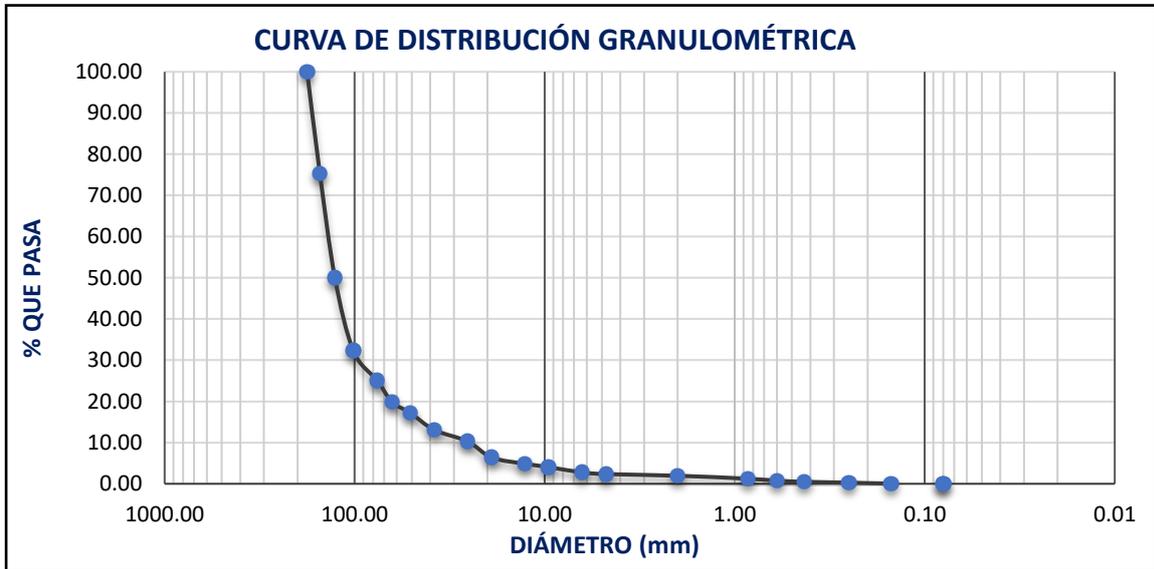
DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 169.94 mm

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - MUESTRA 07			
MUESTRA	M - 07	PESO INICIAL	282,741.00 gr
PUNTO	E - 07	PESO TAMIZADO	282,741.00 gr
PROGRESIVA	23+647	CALICATA	Río Sendamal
FECHA	10/10/2024	PROFUNDIDAD	Subsuperficial

TAMIZ N°	Abertura (mm)	PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
		Parcial	% Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
7"	177.80	0.00	0.00	0.00	100.00
6"	152.40	69869.00	24.71	24.71	75.29
5"	127.00	71562.00	25.31	50.02	49.98
4"	101.60	49988.00	17.68	67.70	32.30
3"	76.20	20352.00	7.20	74.90	25.10
2 1/2"	63.50	14833.00	5.25	80.15	19.85
2"	50.80	7623.00	2.70	82.84	17.16
1 1/2"	38.10	11572.00	4.09	86.93	13.07
1"	25.40	7865.00	2.78	89.72	10.28
3/4"	19.05	10994.00	3.89	93.60	6.40
1/2"	12.70	4373.00	1.55	95.15	4.85
3/8"	9.53	2218.00	0.78	95.94	4.06
1/4"	6.35	3760.00	1.33	97.27	2.73
N°4	4.75	1094.00	0.39	97.65	2.35
N°10	2.00	1112.00	0.39	98.05	1.95
N°20	0.85	2063.00	0.73	98.78	1.22
N°30	0.60	1329.00	0.47	99.25	0.75
N°40	0.43	785.00	0.28	99.52	0.48
N°60	0.25	562.00	0.20	99.72	0.28
N°100	0.15	628.00	0.22	99.94	0.06
N°200	0.08	159.00	0.06	100.00	0.00
Cazoleta	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		282741.00			

RESUMEN DE DATOS

% peso > 4 :	97.7%	DIÁMETRO MEDIO DEL MATERIAL TAMIZADO (mm)
% peso < 4 :	2.3%	
Cu = 5.5	Cc = 2.56	
Clasificación(SUCS) :	GW	
Clasificación(AASHTO) :	A - 1	
		Dm: 127.02



TOMA DE MUESTRAS DEL MATERIAL GRUESO			
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO (mm)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PESO PARCIAL (gr)
CANTOS	150 - 250	200	67300
ROCAS	250- 330	290	56800
TOTAL			124100

PESO TOTAL DEL PUNTO DE MUESTREO M - 01 = 406841.00 gr

MATERIAL	PESO (gr)	DIÁMETRO MEDIO (mm)	PORCENTAJE
TAMIZADO	282741.00	127.02	0.69
CANTOS	67300.00	200.00	0.17
ROCAS	56800.00	290.00	0.14
TOTAL	406841.00	617.02	1.00

DIÁMETRO MEDIO DE LA MUESTRA = 161.85 mm

ANEXO 4. CÁLCULO DE PENDIENTES EN LOS TRAMOS DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

Li: Longitud del tramo i

Si: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 01	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2892.017		
10.00	10.00	2891.934	0.0083	0.0911
10.00	20.00	2891.846	0.0088	0.0938
10.00	30.00	2891.773	0.0073	0.0854
10.00	40.00	2891.694	0.0079	0.0889
10.00	50.00	2891.614	0.0080	0.0894
3.81	53.81	2891.587	0.0071	0.0842
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0080	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 02	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2565.169		
10.00	10.00	2565.105	0.0064	0.0800
10.00	20.00	2565.039	0.0066	0.0812
10.00	30.00	2564.972	0.0067	0.0819
10.00	40.00	2564.904	0.0068	0.0825
10.00	50.00	2564.836	0.0068	0.0825
3.77	53.77	2564.811	0.0066	0.0814
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0067	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 03	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2382.812		
10.00	10.00	2382.767	0.0045	0.0671
10.00	20.00	2382.714	0.0053	0.0728
10.00	30.00	2382.67	0.0044	0.0663
10.00	40.00	2382.614	0.0056	0.0748
10.00	50.00	2382.558	0.0056	0.0748
0.77	50.77	2382.554	0.0052	0.0721
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0050	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 04	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2267.765		
10.00	10.00	2267.722	0.0043	0.0656
10.00	20.00	2267.676	0.0046	0.0678
10.00	30.00	2267.628	0.0048	0.0693
10.00	40.00	2267.582	0.0046	0.0678
10.00	50.00	2267.538	0.0044	0.0663
10.00	60.00	2267.492	0.0046	0.0678
0.32	60.32	2267.491	0.0031	0.0559
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0045	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 05	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S^{1/2}
0.00	0.00	2079.644		
10.00	10.00	2079.613	0.0031	0.0557
10.00	20.00	2079.579	0.0034	0.0583
10.00	30.00	2079.533	0.0046	0.0678
10.00	40.00	2079.486	0.0047	0.0686
10.00	50.00	2079.437	0.0049	0.0700
4.98	54.98	2079.414	0.0046	0.0680
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0041	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 06	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	$S^{1/2}$
0.00	0.00	1940.725		
10.00	10.00	1940.684	0.0041	0.0640
10.00	20.00	1940.651	0.0033	0.0574
10.00	30.00	1940.62	0.0031	0.0557
10.00	40.00	1940.581	0.0039	0.0624
10.00	50.00	1940.541	0.0040	0.0632
1.90	51.90	1940.533	0.0042	0.0649
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0037	

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO			E - 07	
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	$S^{1/2}$
0.00	0.00	1733.732		
10.00	10.00	1733.708	0.0024	0.0490
10.00	20.00	1733.679	0.0029	0.0539
10.00	30.00	1733.650	0.0029	0.0539
10.00	40.00	1733.619	0.0031	0.0557
10.00	50.00	1733.586	0.0033	0.0574
3.58	53.58	1733.574	0.0034	0.0579
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0029	

ANEXO 5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD MEDIANTE LA ECUACIÓN DE MANNING

Ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2} \qquad n = \frac{1}{V} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

Donde:

- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- V: Velocidad
- Rh: Radio hidráulico
- S: Pendiente del cauce
- A: Área hidráulica
- Pm: Perímetro mojado

PUNTO DE AFORO: E - 01

V	A	Pm	Rh	S
0.810	1.873	4.040	0.464	0.0080

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.066
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 02

V	A	Pm	Rh	S
0.772	1.640	3.900	0.421	0.00666

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.059
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 03

V	A	Pm	Rh	S
0.709	1.748	4.200	0.416	0.00504

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.056
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 04

V	A	P _m	R _h	S
0.632	1.871	4.450	0.420	0.00454

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.060
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 05

V	A	P _m	R _h	S
0.659	1.732	4.250	0.408	0.00408

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.053
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 06

V	A	P _m	R _h	S
0.671	2.009	4.550	0.441	0.00366

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.052
--------------------------------	-------

PUNTO DE AFORO: E - 07

V	A	P _m	R _h	S
0.612	2.033	4.730	0.430	0.00292

Coeficiente de rugosidad (n) =	0.050
--------------------------------	-------

ANEXO 6. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD									
PUNTO DE AFORO:		E - 01							
Ecuación utilizada:									
$n = \frac{(X-1) Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)}$ sabiendo que: $X = V_{0.2}/V_{0.8}$									
Donde:									
n: Rugosidad									
Y: Tirante de agua									
V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente									
Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.63	0.13	0.50	0.80	0.50	1.60	0.039
3	0.30	0.60	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
4	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.60	1.67	0.042
5	0.30	1.20	0.64	0.13	0.51	1.10	0.70	1.57	0.038
6	0.30	1.50	0.68	0.14	0.54	1.20	0.70	1.71	0.045
7	0.30	1.80	0.71	0.14	0.57	1.10	0.70	1.57	0.038
8	0.30	2.10	0.73	0.15	0.58	1.10	0.60	1.83	0.051
9	0.30	2.40	0.66	0.13	0.53	1.00	0.70	1.43	0.030
10	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.90	0.60	1.50	0.033
11	0.26	2.96	0.51	0.10	0.41	0.70	0.40	1.75	0.045
n PROMEDIO =									0.041

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 02

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1)Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.55	0.11	0.44	0.50	0.30	1.67	0.041
2	0.30	0.30	0.54	0.11	0.43	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
4	0.30	0.90	0.59	0.12	0.47	1.00	0.70	1.43	0.030
5	0.30	1.20	0.66	0.13	0.53	1.10	0.60	1.83	0.050
6	0.30	1.50	0.71	0.14	0.57	1.20	0.80	1.50	0.035
7	0.30	1.80	0.63	0.13	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
8	0.30	2.10	0.56	0.11	0.45	1.00	0.60	1.67	0.042
9	0.30	2.40	0.52	0.10	0.42	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.57	0.11	0.46	0.80	0.60	1.33	0.024
11	0.08	2.78	0.53	0.11	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
n PROMEDIO =									0.037

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 03

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1)Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.55	0.11	0.44	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.80	0.50	1.60	0.039
5	0.30	1.20	0.63	0.13	0.50	0.90	0.60	1.50	0.034
6	0.30	1.50	0.62	0.12	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
7	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	1.00	0.70	1.43	0.029
8	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	1.10	0.70	1.57	0.036
9	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.51	0.10	0.41	0.80	0.50	1.60	0.038
11	0.30	3.00	0.52	0.10	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.12	3.12	0.54	0.11	0.43	0.60	0.40	1.50	0.033
n PROMEDIO =									0.036

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 04

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1) Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.60	0.30	2.00	0.055
2	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
3	0.30	0.60	0.54	0.11	0.43	0.70	0.40	1.75	0.045
4	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
6	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.90	0.60	1.50	0.033
7	0.30	1.80	0.57	0.11	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
8	0.30	2.10	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
9	0.30	2.40	0.54	0.11	0.43	0.90	0.60	1.50	0.033
10	0.30	2.70	0.56	0.11	0.45	0.80	0.50	1.60	0.038
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.40	1.75	0.045
12	0.30	3.30	0.52	0.10	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.13	3.43	0.48	0.10	0.38	0.50	0.30	1.67	0.040
n PROMEDIO =								0.038	

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 05

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1)Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.49	0.10	0.39	0.60	0.40	1.50	0.033
2	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.70	0.40	1.75	0.045
3	0.30	0.60	0.52	0.10	0.42	0.80	0.50	1.60	0.038
4	0.30	0.90	0.55	0.11	0.44	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.61	0.12	0.49	0.90	0.60	1.50	0.034
6	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	1.10	0.70	1.57	0.038
7	0.30	1.80	0.54	0.11	0.43	1.00	0.70	1.43	0.029
8	0.30	2.10	0.52	0.10	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
9	0.30	2.40	0.51	0.10	0.41	0.80	0.60	1.33	0.023
10	0.30	2.70	0.50	0.10	0.40	0.70	0.50	1.40	0.027
11	0.30	3.00	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
12	0.21	3.21	0.53	0.11	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =									0.035

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 06

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1) Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.53	0.11	0.42	0.60	0.40	1.50	0.033
2	0.30	0.30	0.51	0.10	0.41	0.60	0.40	1.50	0.033
3	0.30	0.60	0.57	0.11	0.46	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.61	0.12	0.49	0.90	0.60	1.50	0.034
5	0.30	1.20	0.58	0.12	0.46	1.00	0.60	1.67	0.042
6	0.30	1.50	0.63	0.13	0.50	0.90	0.60	1.50	0.034
7	0.30	1.80	0.61	0.12	0.49	1.00	0.70	1.43	0.030
8	0.30	2.10	0.58	0.12	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
9	0.30	2.40	0.59	0.12	0.47	0.80	0.60	1.33	0.024
10	0.30	2.70	0.62	0.12	0.50	0.80	0.50	1.60	0.039
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.18	3.48	0.51	0.10	0.41	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =								0.033	

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD

PUNTO DE AFORO: E - 07

Ecuación utilizada:

$$n = \frac{(X-1) Y^{1/6}}{5.57(X+0.95)} \quad \text{sabiendo que: } X = V_{0.2}/V_{0.8}$$

Donde:

n: Rugosidad

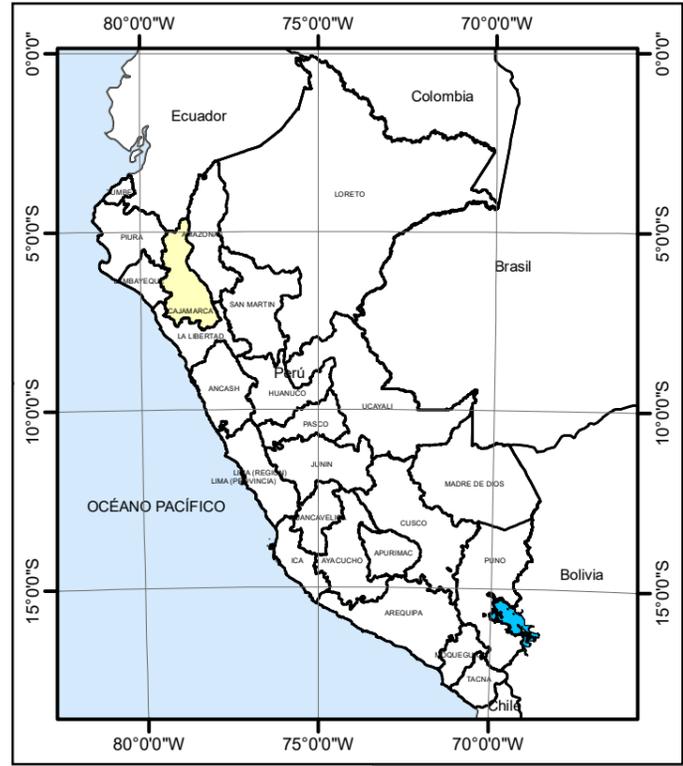
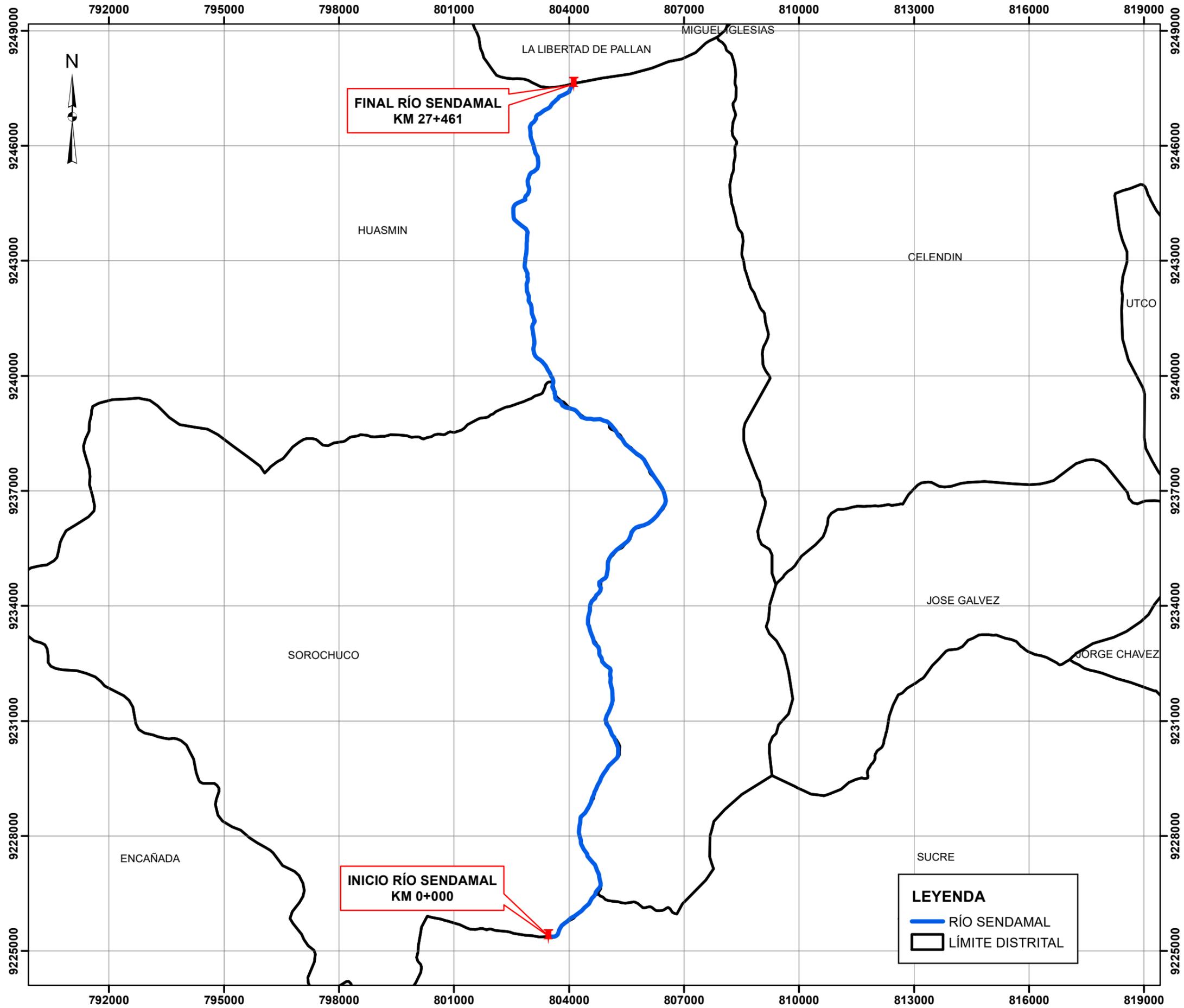
Y: Tirante de agua

V 0.2; V 0.8: Velocidades al 20% y 80% de profundidad del tirante de agua, respectivamente

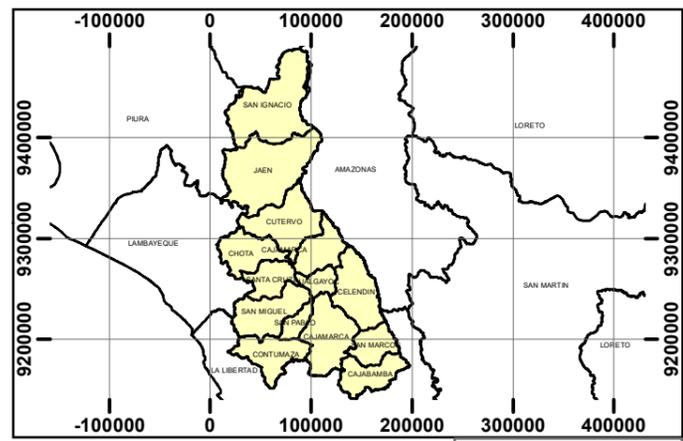
Nº	EQUIDISTANCIA ENTRE SUB TRAMOS	DISTANCIA ACUMULADA	TIRANTE (Y)	PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		VELOCIDAD A CADA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN		V 0.2/V 0.8 (X)	RUGOSIDAD (n)
				0.20Y	0.80Y	V 0.2	V 0.8		
1	0.00	0.00	0.52	0.10	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
2	0.30	0.30	0.53	0.11	0.42	0.50	0.40	1.25	0.018
3	0.30	0.60	0.55	0.11	0.44	0.70	0.50	1.40	0.028
4	0.30	0.90	0.56	0.11	0.45	0.80	0.50	1.60	0.038
5	0.30	1.20	0.57	0.11	0.46	0.90	0.60	1.50	0.033
6	0.30	1.50	0.56	0.11	0.45	0.80	0.60	1.33	0.024
7	0.30	1.80	0.53	0.11	0.42	0.90	0.60	1.50	0.033
8	0.30	2.10	0.59	0.12	0.47	0.80	0.60	1.33	0.024
9	0.30	2.40	0.61	0.12	0.49	0.80	0.50	1.60	0.039
10	0.30	2.70	0.55	0.11	0.44	0.60	0.50	1.20	0.015
11	0.30	3.00	0.53	0.11	0.42	0.70	0.50	1.40	0.027
12	0.30	3.30	0.56	0.11	0.45	0.60	0.40	1.50	0.033
13	0.30	3.60	0.51	0.10	0.41	0.60	0.40	1.50	0.033
14	0.07	3.67	0.52	0.10	0.42	0.50	0.30	1.67	0.041
n PROMEDIO =								0.031	

ANEXO 7. PLANOS

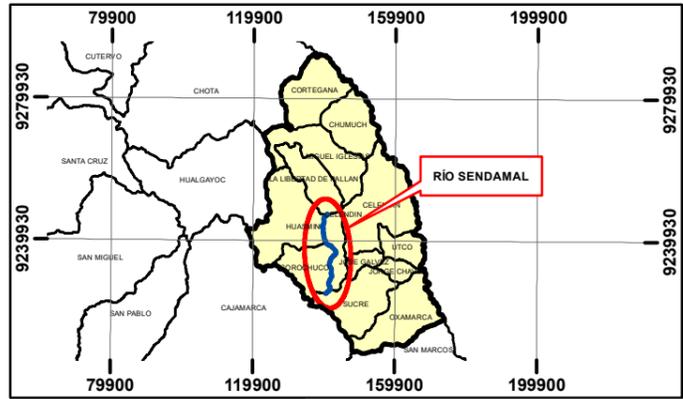
1. PU - Plano de ubicación del río Sendamal
2. UPM - Plano de ubicación de los puntos de medición
3. PE - Plano de las secciones transversales de los puntos de aforo
4. PP – Plano de perfiles longitudinales de los tramos del río en los puntos de medición.



DEPARTAMENTO CAJAMARCA

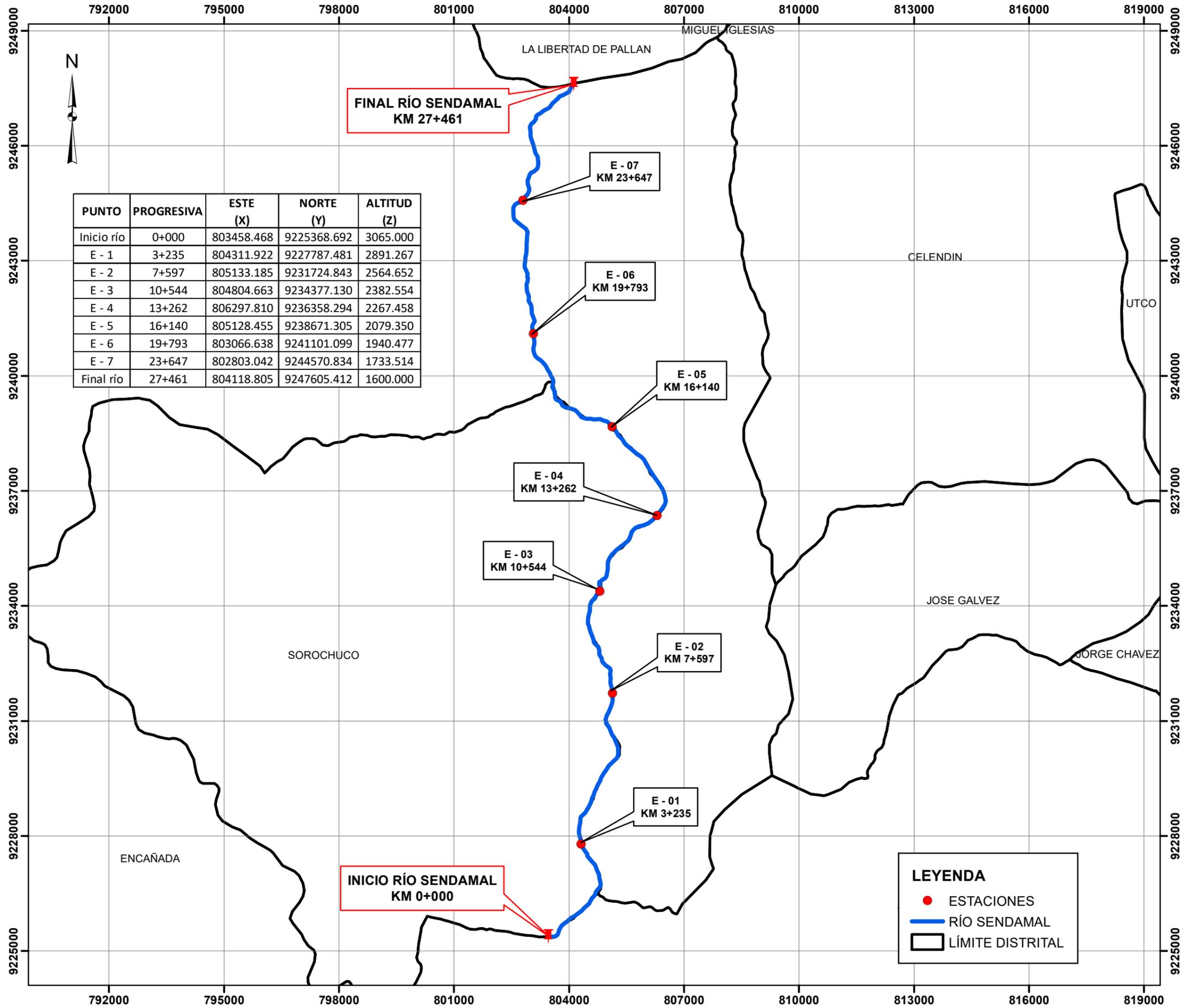


PROVINCIA CELENDÍN



DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN

UBICACIÓN:
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CELENDÍN
 DISTRITOS : SOROCHUCO Y HUASMÍN



PUNTO	PROGRESIVA	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTITUD (Z)
Inicio río	0+000	803458.468	9225368.692	3065.000
E - 1	3+235	804311.922	9227787.481	2891.267
E - 2	7+597	805133.185	9231724.843	2564.652
E - 3	10+544	804804.663	9234377.130	2382.554
E - 4	13+262	806297.810	9236358.294	2267.458
E - 5	16+140	805128.455	9238671.305	2079.350
E - 6	19+793	803066.638	9241101.099	1940.477
E - 7	23+647	802803.042	9244570.834	1733.514
Final río	27+461	804118.805	9247605.412	1600.000

**FINAL RÍO SENDAMAL
KM 27+461**

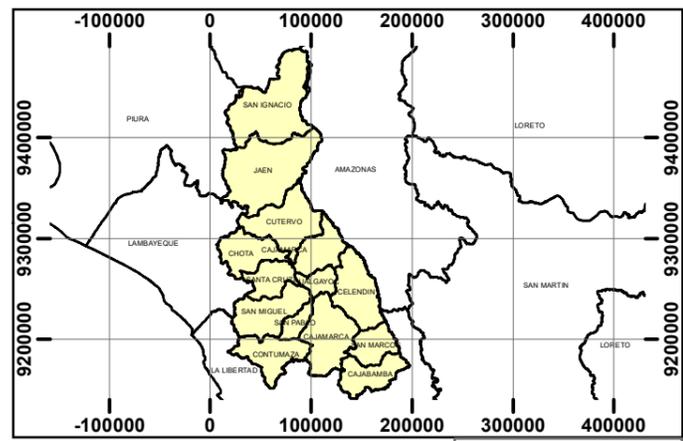
**INICIO RÍO SENDAMAL
KM 0+000**

LEYENDA

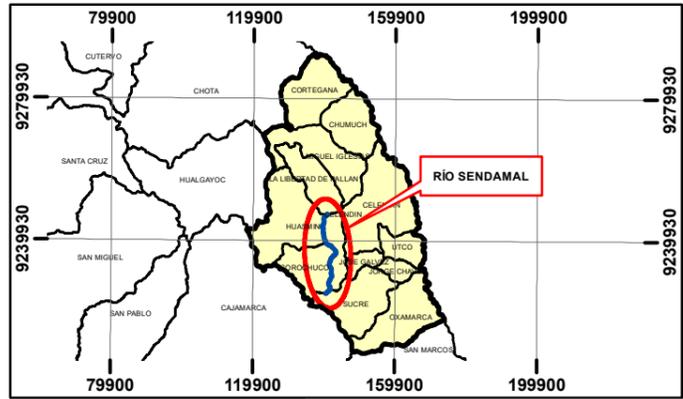
- ESTACIONES
- RÍO SENDAMAL
- LÍMITE DISTRITAL



DEPARTAMENTO CAJAMARCA



PROVINCIA CELENDÍN



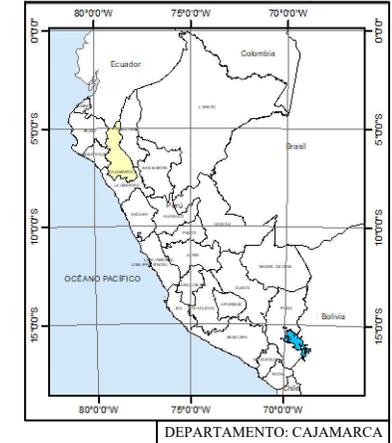
DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN

UBICACIÓN:
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CELENDÍN
 DISTRITOS : SOROCHUCO Y HUASMÍN

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 01	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.52	0.00	0.520	
S1	0.63	0.30	0.320	0.173
S2	0.61	0.30	0.300	0.186
S3	0.59	0.30	0.300	0.180
S4	0.64	0.30	0.300	0.185
S5	0.68	0.30	0.300	0.198
S6	0.71	0.30	0.300	0.209
S7	0.73	0.30	0.300	0.216
S8	0.66	0.30	0.310	0.209
S9	0.55	0.30	0.320	0.182
S10	0.51	0.26	0.260	0.138
			0.510	
TOTAL		2.96 m	4.040 m	1.873 m²

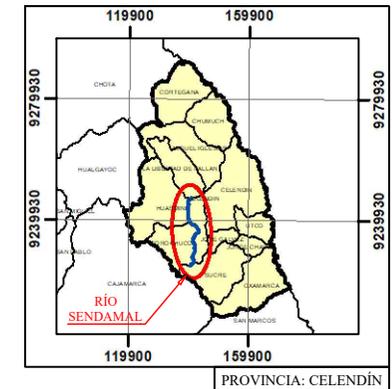
RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.040 m	1.873 m ²	0.46 m

RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
2.96 m	1.517 m ³ /s

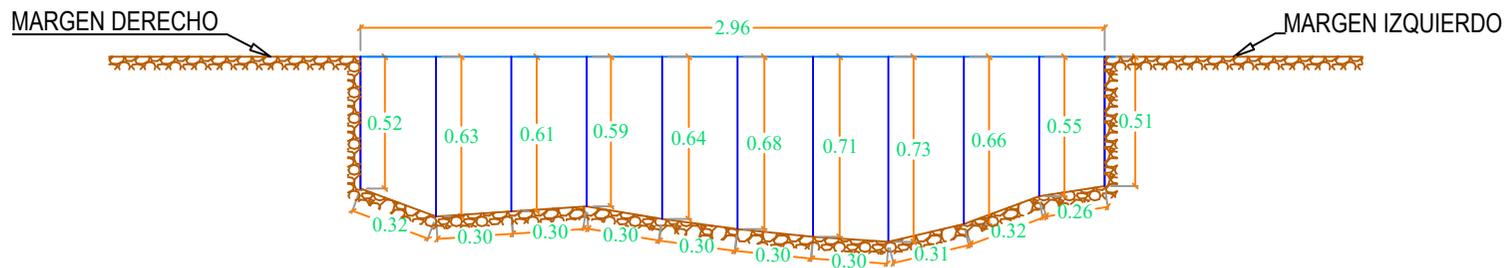


DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 01 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

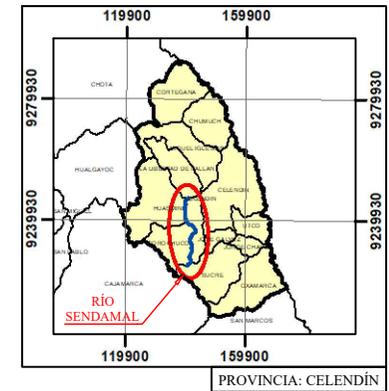
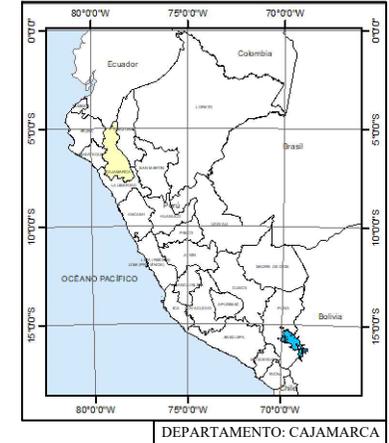
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-01
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 02	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.55	0.00	0.550	
S1	0.54	0.30	0.300	0.164
S2	0.55	0.30	0.300	0.164
S3	0.59	0.30	0.300	0.171
S4	0.66	0.30	0.310	0.188
S5	0.71	0.30	0.300	0.206
S6	0.63	0.30	0.310	0.201
S7	0.56	0.30	0.310	0.179
S8	0.52	0.30	0.300	0.162
S9	0.57	0.30	0.300	0.164
S10	0.53	0.08	0.090	0.044
			0.530	
TOTAL	2.780 m		3.900 m	1.640 m²

RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
3.900 m	1.640 m ²	0.421 m

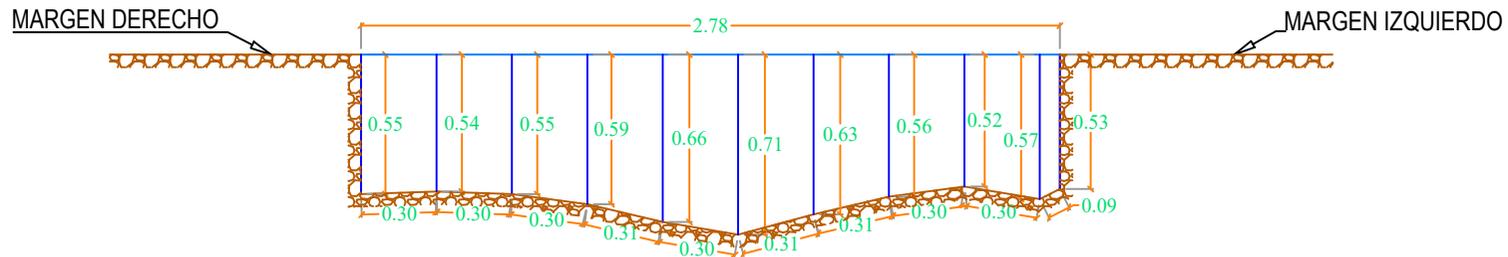
RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
2.78 m	1.267 m ³ /s



DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL

SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 02 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO

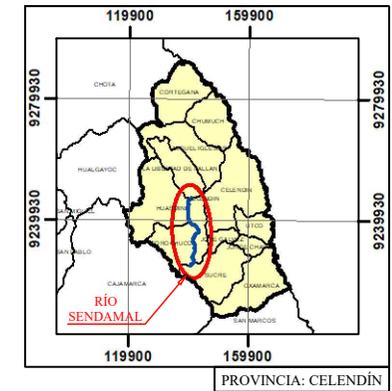
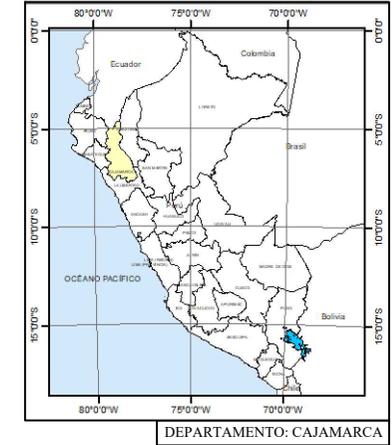
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-02
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 03	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.53	0.00	0.53	
S1	0.55	0.30	0.30	0.162
S2	0.54	0.30	0.30	0.164
S3	0.61	0.30	0.31	0.173
S4	0.63	0.30	0.30	0.186
S5	0.62	0.30	0.30	0.188
S6	0.57	0.30	0.30	0.179
S7	0.52	0.30	0.30	0.164
S8	0.54	0.30	0.30	0.159
S9	0.51	0.30	0.30	0.158
S10	0.52	0.30	0.30	0.155
S11	0.54	0.12	0.12	0.064
			0.54	
TOTAL		3.120 m	4.200 m	1.748 m²

RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.200 m	1.748 m ²	0.416 m

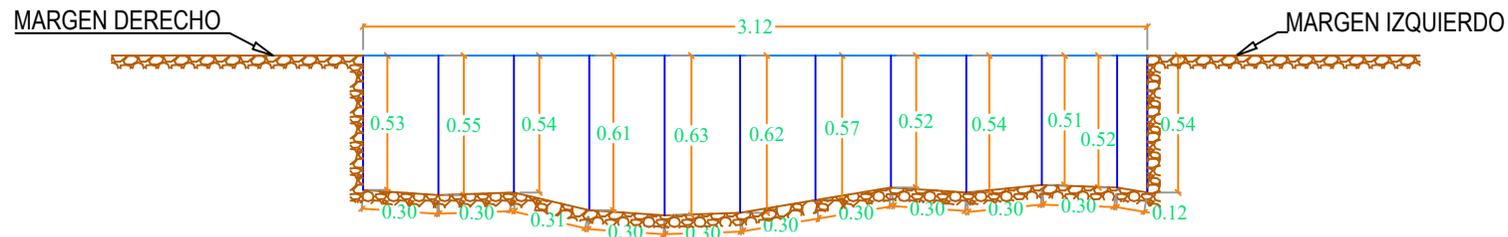
RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
3.12 m	1.240 m ³ /s



DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL

SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 03 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

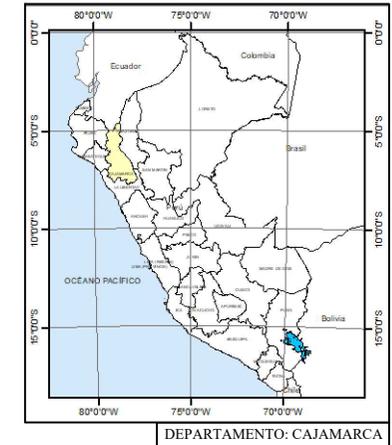
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-03
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 04	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.52	0.00	0.520	
S1	0.51	0.30	0.300	0.155
S2	0.54	0.30	0.300	0.158
S3	0.55	0.30	0.300	0.164
S4	0.53	0.30	0.300	0.162
S5	0.56	0.30	0.300	0.164
S6	0.57	0.30	0.300	0.170
S7	0.61	0.30	0.300	0.177
S8	0.54	0.30	0.310	0.173
S9	0.56	0.30	0.300	0.165
S10	0.53	0.30	0.300	0.164
S11	0.52	0.30	0.300	0.158
S12	0.48	0.13	0.140	0.065
			0.480	
TOTAL		3.430 m	4.450 m	1.871 m²

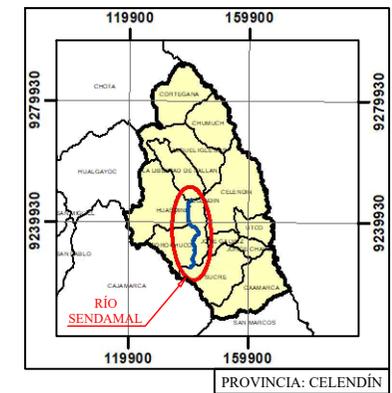
RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.450 m	1.871 m ²	0.420 m

RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
3.43 m	1.182 m ³ /s

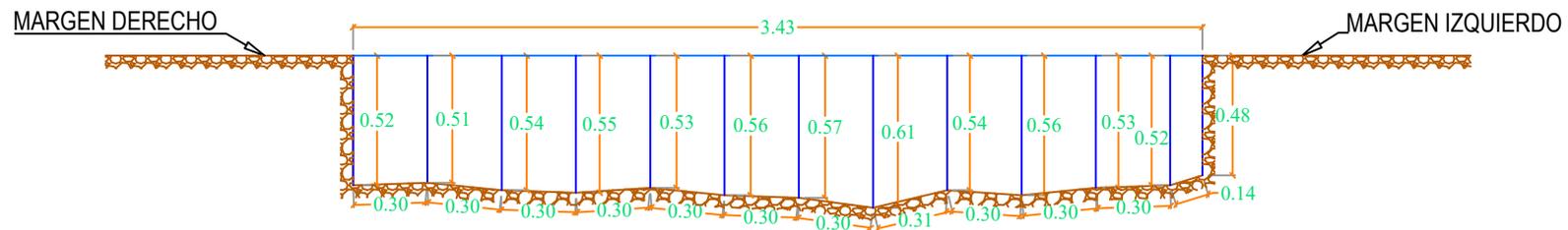


DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 04 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

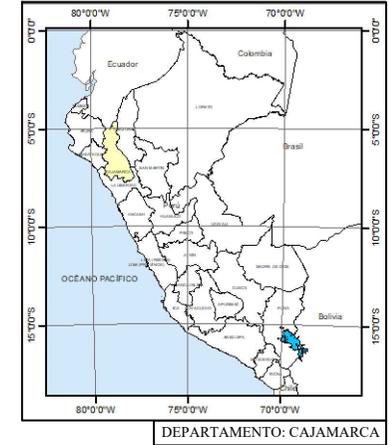
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-04
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 05	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.49	0.00	0.490	
S1	0.53	0.30	0.300	0.153
S2	0.52	0.30	0.300	0.158
S3	0.55	0.30	0.300	0.161
S4	0.61	0.30	0.310	0.174
S5	0.63	0.30	0.300	0.186
S6	0.54	0.30	0.310	0.176
S7	0.52	0.30	0.300	0.159
S8	0.51	0.30	0.300	0.155
S9	0.50	0.30	0.300	0.152
S10	0.51	0.30	0.300	0.152
S11	0.53	0.21	0.210	0.109
			0.530	
TOTAL		3.210 m	4.250 m	1.732 m²

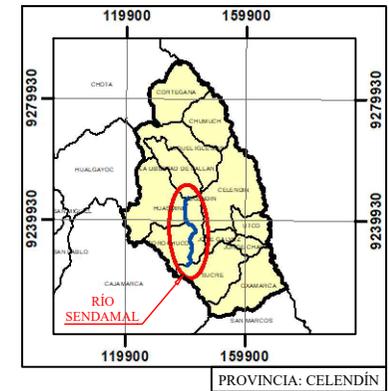
RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.250 m	1.732 m ²	0.408 m

RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
3.21 m	1.142 m ³ /s

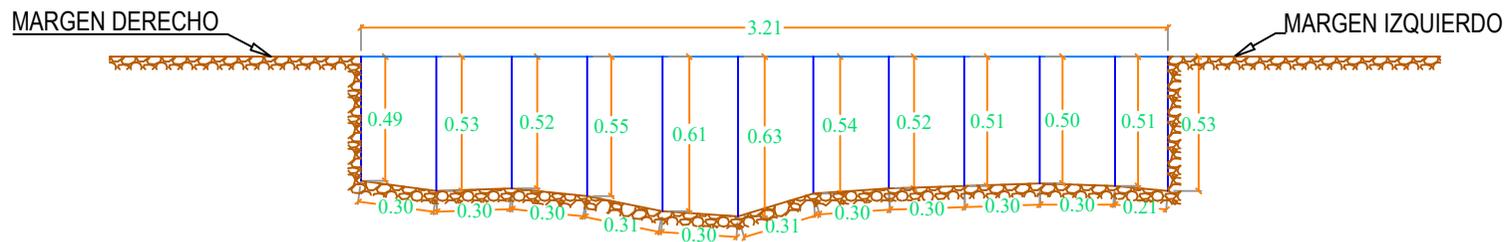


DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 05 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

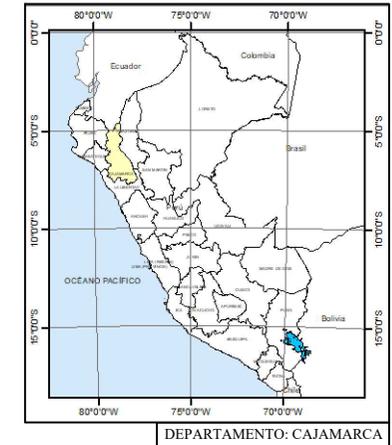
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-05
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 06	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.53	0.00	0.530	
S1	0.51	0.30	0.300	0.156
S2	0.57	0.30	0.310	0.162
S3	0.61	0.30	0.300	0.177
S4	0.58	0.30	0.300	0.179
S5	0.63	0.30	0.300	0.182
S6	0.61	0.30	0.300	0.186
S7	0.58	0.30	0.300	0.179
S8	0.59	0.30	0.300	0.176
S9	0.62	0.30	0.300	0.182
S10	0.53	0.30	0.310	0.173
S11	0.56	0.30	0.300	0.164
S12	0.51	0.18	0.190	0.096
			0.510	
TOTAL		3.480 m	4.550 m	2.009 m²

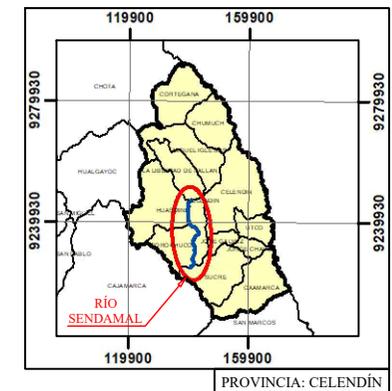
RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.550 m	2.009 m ²	0.441 m

RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
3.48 m	1.348 m ³ /s

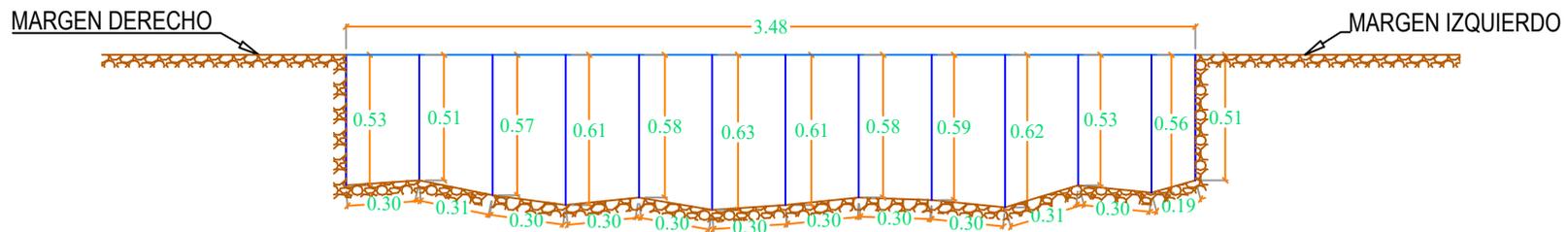


DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 06 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

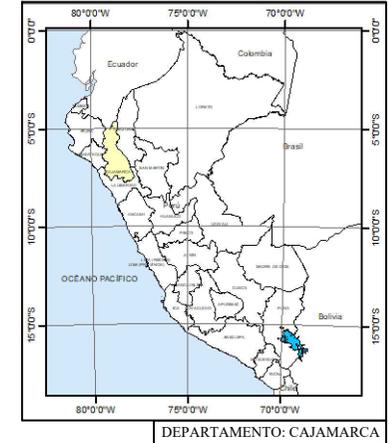
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-06
ESCALA:
 INDICADA

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO				
PUNTO DE AFORO			E - 07	
SECCIÓN	Y (m)	DIST. PARCIAL	Pm (m)	A (m ²)
	0.52	0.00	0.520	
S1	0.53	0.30	0.300	0.158
S2	0.55	0.30	0.300	0.162
S3	0.56	0.30	0.300	0.167
S4	0.57	0.30	0.300	0.170
S5	0.56	0.30	0.300	0.170
S6	0.53	0.30	0.300	0.164
S7	0.59	0.30	0.310	0.168
S8	0.61	0.30	0.300	0.180
S9	0.55	0.30	0.310	0.174
S10	0.53	0.30	0.300	0.162
S11	0.56	0.30	0.300	0.164
S12	0.51	0.30	0.300	0.161
S13	0.52	0.07	0.070	0.036
			0.520	
TOTAL	3.670 m		4.730 m	2.033 m²

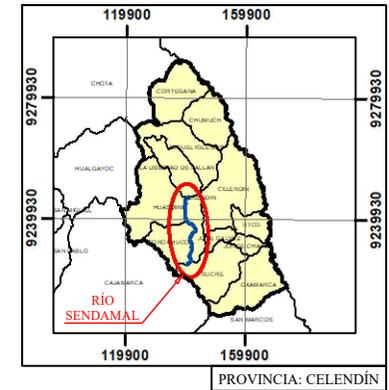
RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS		
Pm (m)	A (m ²)	Rh (m)
4.730 m	2.033 m ²	0.430 m

RESULTADOS DE AFORO	
ANCHO CAUCE (m)	CAUDAL (m ³ /s)
3.67 m	1.243 m ³ /s

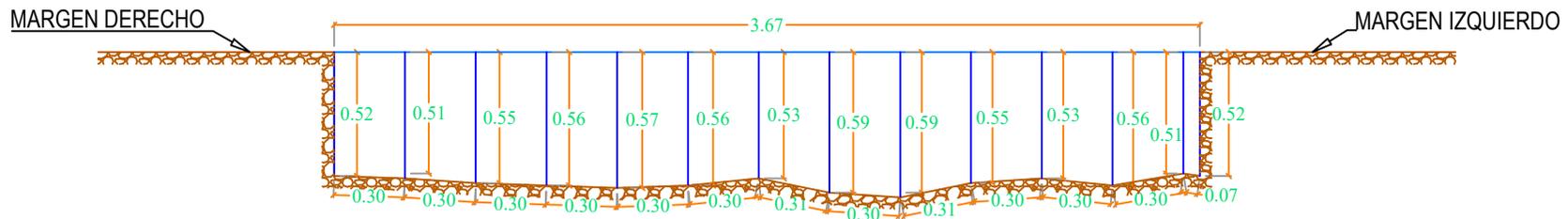


DONDE:
 Y: Tirante de agua
 Pm: Perímetro mojado
 A: Área hidráulica
 Rh: Radio hidráulico

LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	ESPEJO DE AGUA
	TIRANTE DE AGUA
	TERRENO NATURAL



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUNTO DE AFORO E - 07 ESC.: 1/30



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



TESIS:
 "MODELO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE
 RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN A LA
 GRANULOMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO
 SENDAMAL, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2023"

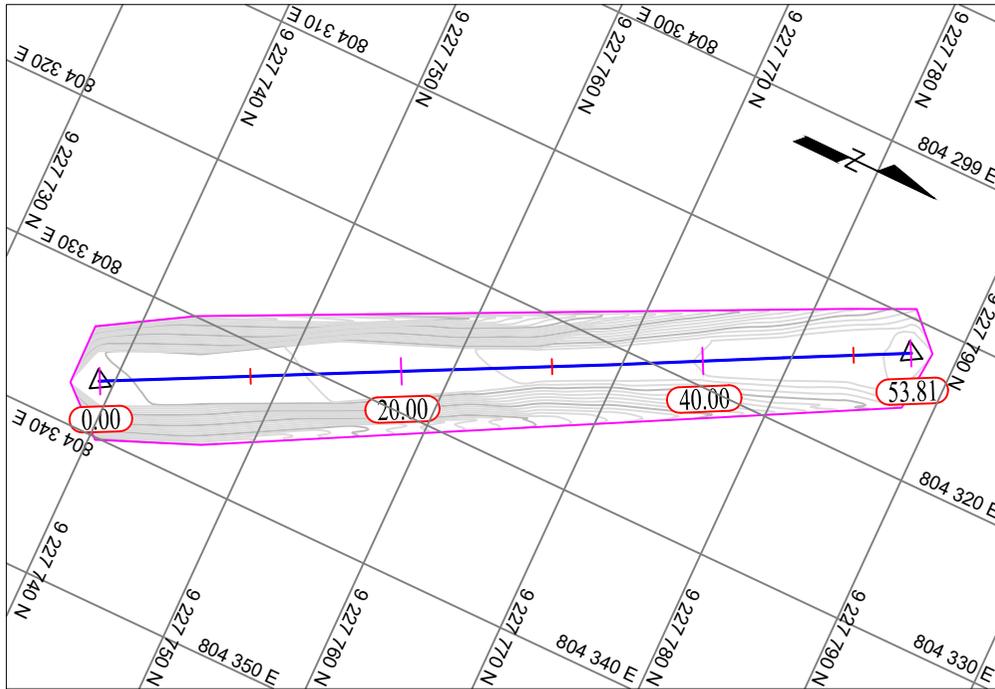
UBICACIÓN:
 DISTRITOS: SOROCHUCO Y HUASMÍN
 PROVINCIA: CELENDÍN
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

TESISTA:
 BACH. PEDRO BOLAÑOS RODRIGUEZ
ASESOR:
 MCS. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ

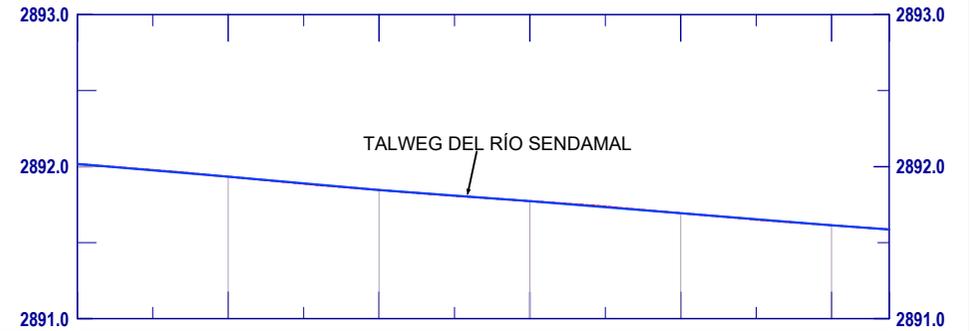
PLANO:
 PLANO DE LA SECCIÓN
 TRANSVERSAL DEL
 PUNTO DE AFORO

SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS - 84
ZONA: 17
HEMISFERIO: SUR

LÁMINA:
PE-07
ESCALA:
 INDICADA



PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 01
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	3.81
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	53.81
COTA TALWEG	2892.017	2891.934	2891.846	2891.773	2891.694	2891.614
PENDIENTE	-0.83%	-0.87%	-0.73%	-0.79%	-0.80%	-0.72%

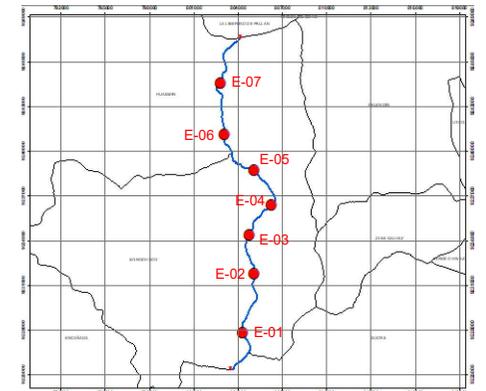
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

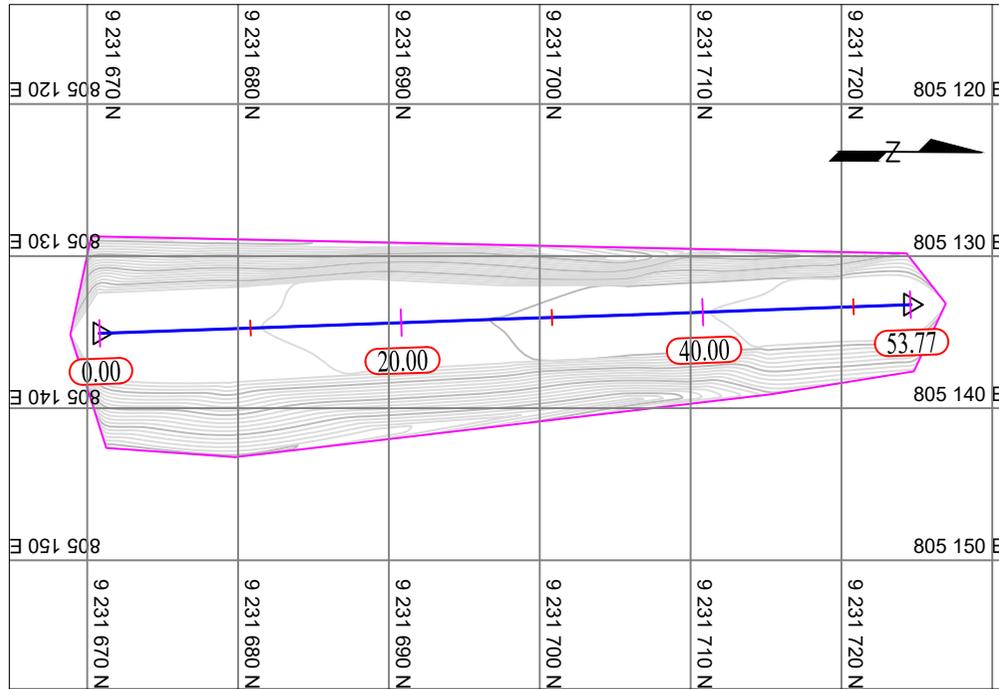
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

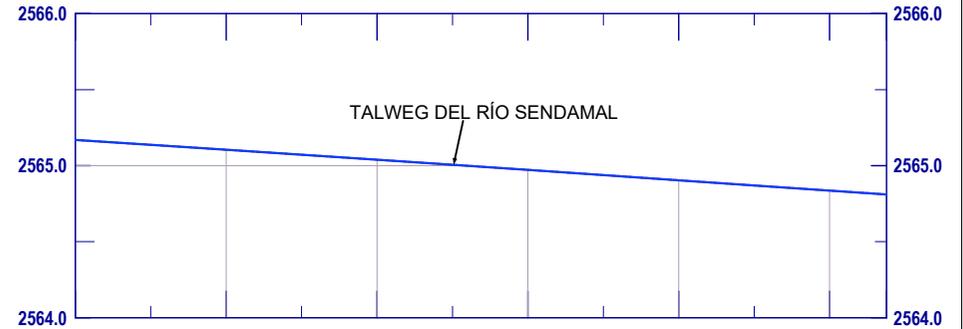
- S: Pendiente media del cauce
- L_i: Longitud del tramo i
- S_i: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO		E - 01		
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	2892.017		
10.00	10.00	2891.934	0.0083	0.0911
10.00	20.00	2891.846	0.0088	0.0938
10.00	30.00	2891.773	0.0073	0.0854
10.00	40.00	2891.694	0.0079	0.0889
10.00	50.00	2891.614	0.0080	0.0894
3.81	53.81	2891.587	0.0071	0.0842
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0080	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 02
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	3.77
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	53.77
COTA TALWEG	2565.169	2565.105	2565.039	2564.972	2564.904	2564.836
PENDIENTE	-0.64%	-0.66%	-0.67%	-0.68%	-0.68%	-0.67%

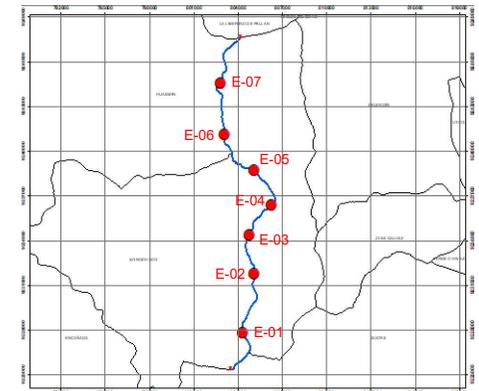
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

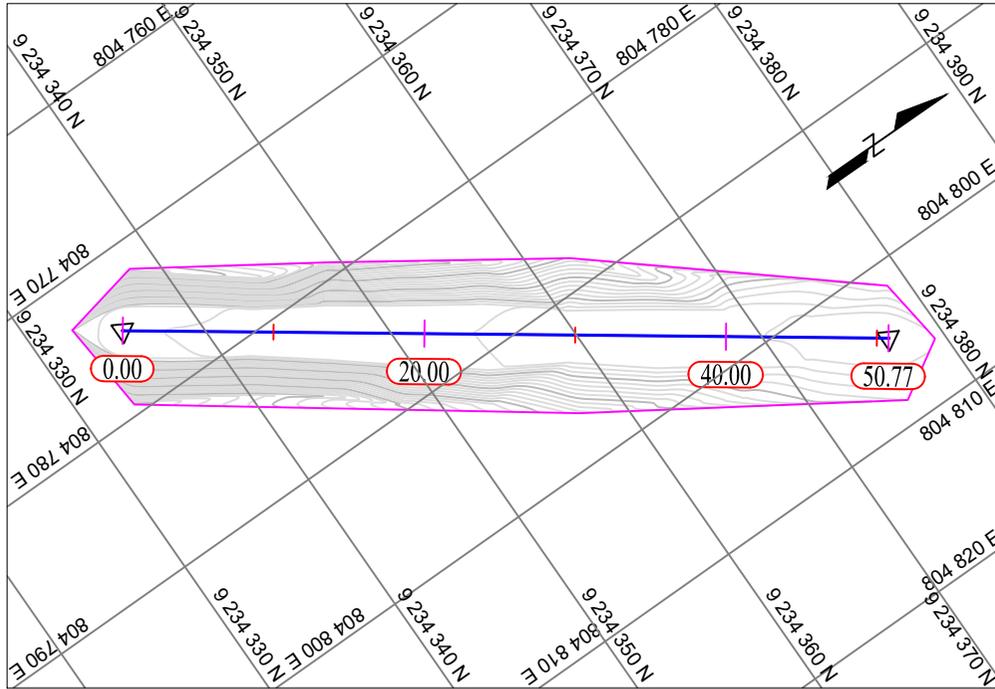
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

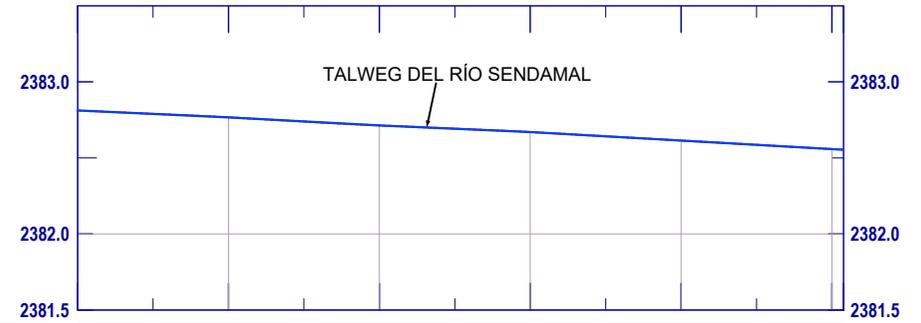
- S: Pendiente media del cauce
- L_i: Longitud del tramo i
- S_i: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO E - 02				
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	2565.169		
10.00	10.00	2565.105	0.0064	0.0800
10.00	20.00	2565.039	0.0066	0.0812
10.00	30.00	2564.972	0.0067	0.0819
10.00	40.00	2564.904	0.0068	0.0825
10.00	50.00	2564.836	0.0068	0.0825
3.77	53.77	2564.811	0.0066	0.0814
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0067	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 03
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.77
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	50.77
COTA TALWEG	2382.812	2382.767	2382.714	2382.670	2382.614	2382.558 2382.554
PENDIENTE	-0.45%	-0.53%	-0.43%	-0.56%	-0.56%	-0.56%

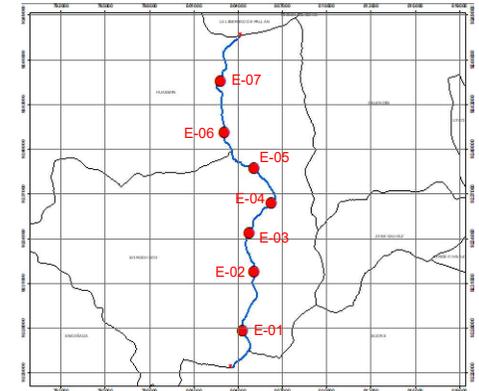
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

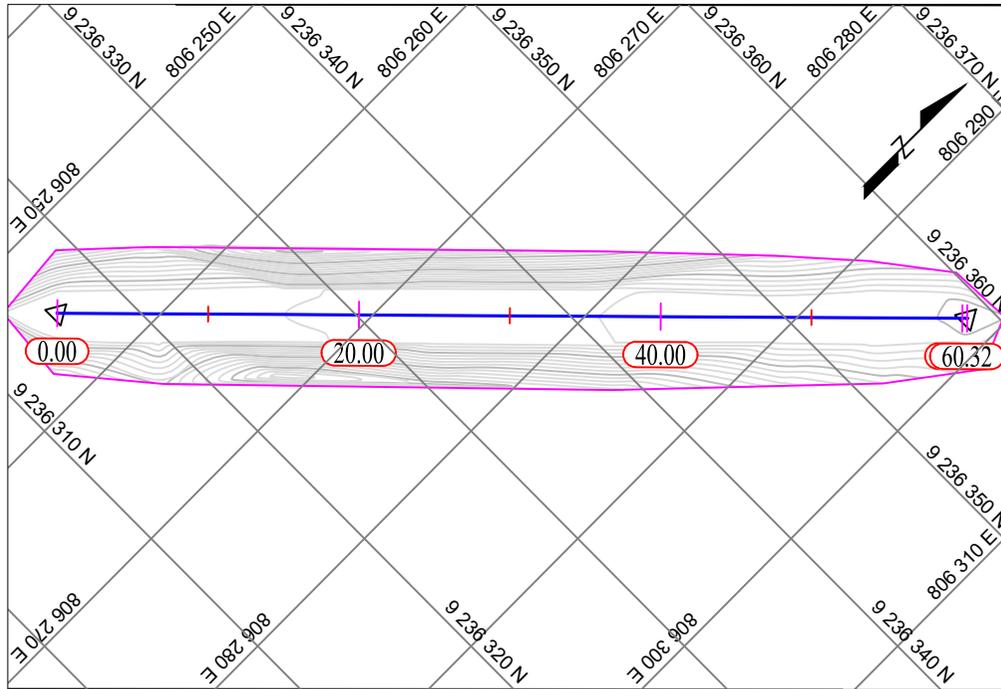
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

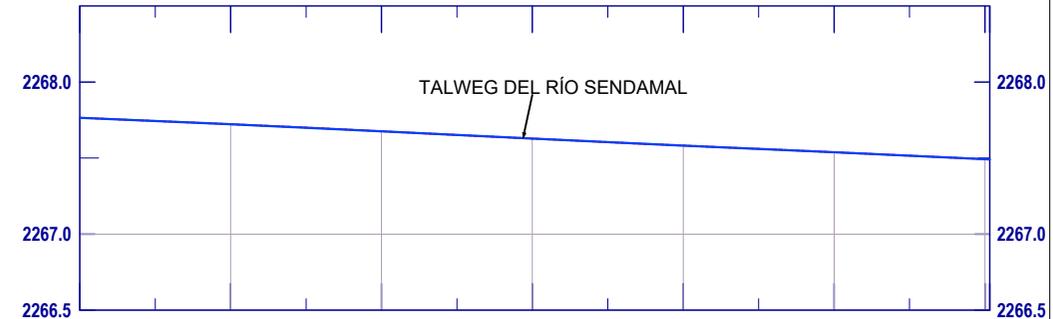
- S: Pendiente media del cauce
- L_i: Longitud del tramo i
- S_i: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO E - 03				
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	2382.812		
10.00	10.00	2382.767	0.0045	0.0671
10.00	20.00	2382.714	0.0053	0.0728
10.00	30.00	2382.67	0.0044	0.0663
10.00	40.00	2382.614	0.0056	0.0748
10.00	50.00	2382.558	0.0056	0.0748
0.77	50.77	2382.554	0.0052	0.0721
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0050	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 04
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.32
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	60.32
COTA TALWEG	2267.765	2267.722	2267.676	2267.628	2267.582	2267.538	2267.492
PENDIENTE	-0.43%	-0.46%	-0.48%	-0.46%	-0.44%	-0.46%	-0.46%

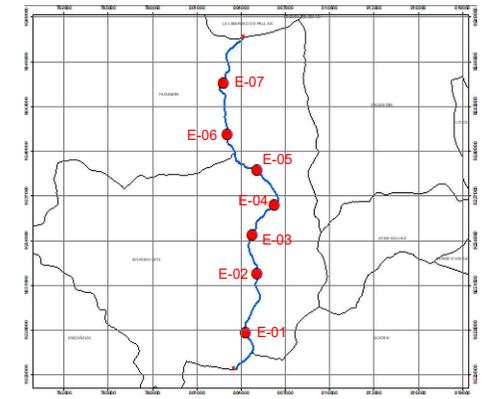
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

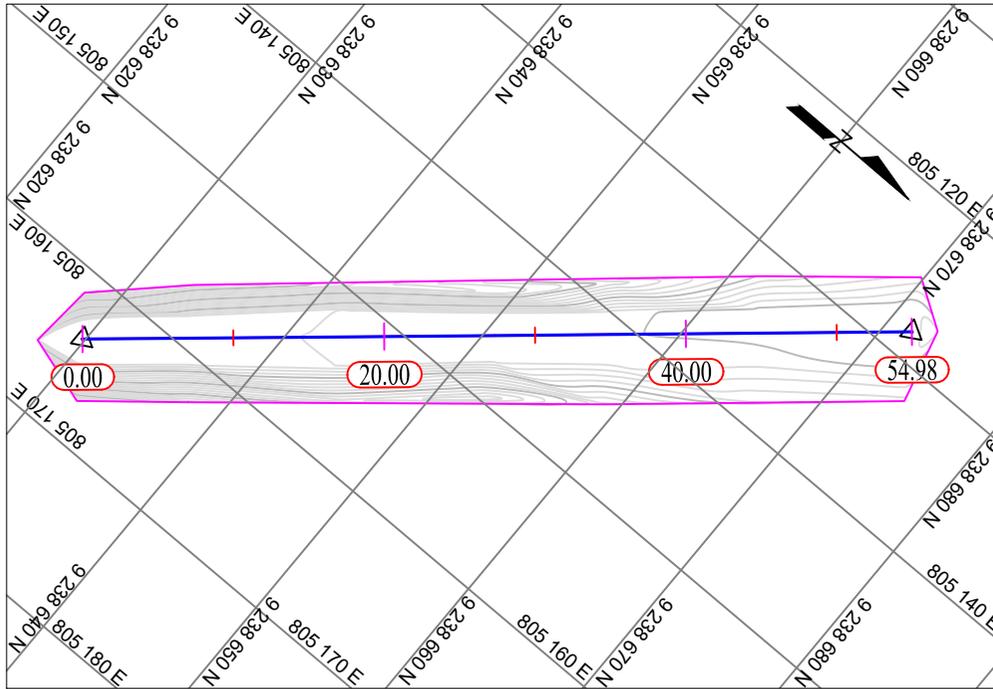
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

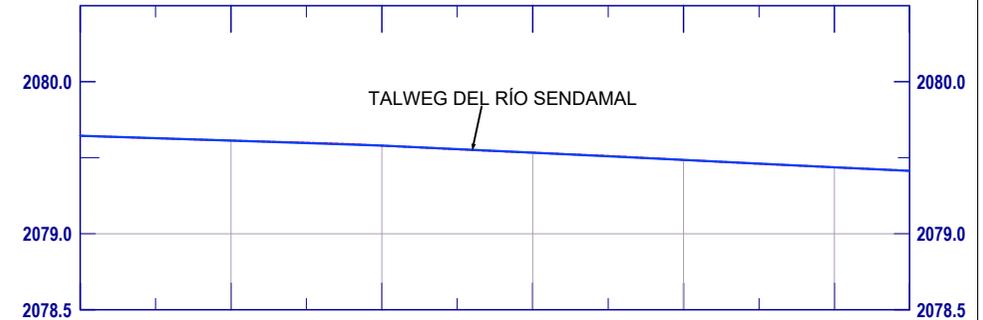
- S: Pendiente media del cauce
- Li: Longitud del tramo i
- Si: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO		E - 04		
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	2267.765		
10.00	10.00	2267.722	0.0043	0.0656
10.00	20.00	2267.676	0.0046	0.0678
10.00	30.00	2267.628	0.0048	0.0693
10.00	40.00	2267.582	0.0046	0.0678
10.00	50.00	2267.538	0.0044	0.0663
10.00	60.00	2267.492	0.0046	0.0678
0.32	60.32	2267.491	0.0031	0.0559
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0045	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 05
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	4.98
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	54.98
COTA TALWEG	2079.644	2079.613	2079.579	2079.533	2079.486	2079.437
PENDIENTE	-0.31%	-0.34%	-0.47%	-0.47%	-0.49%	-0.46%

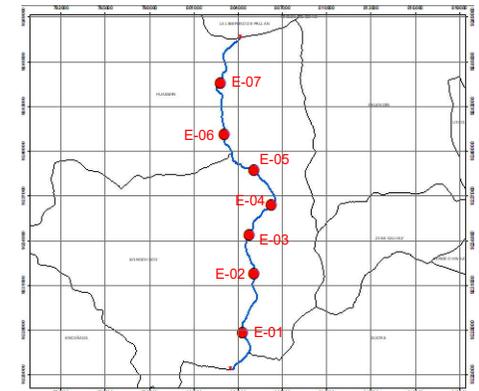
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

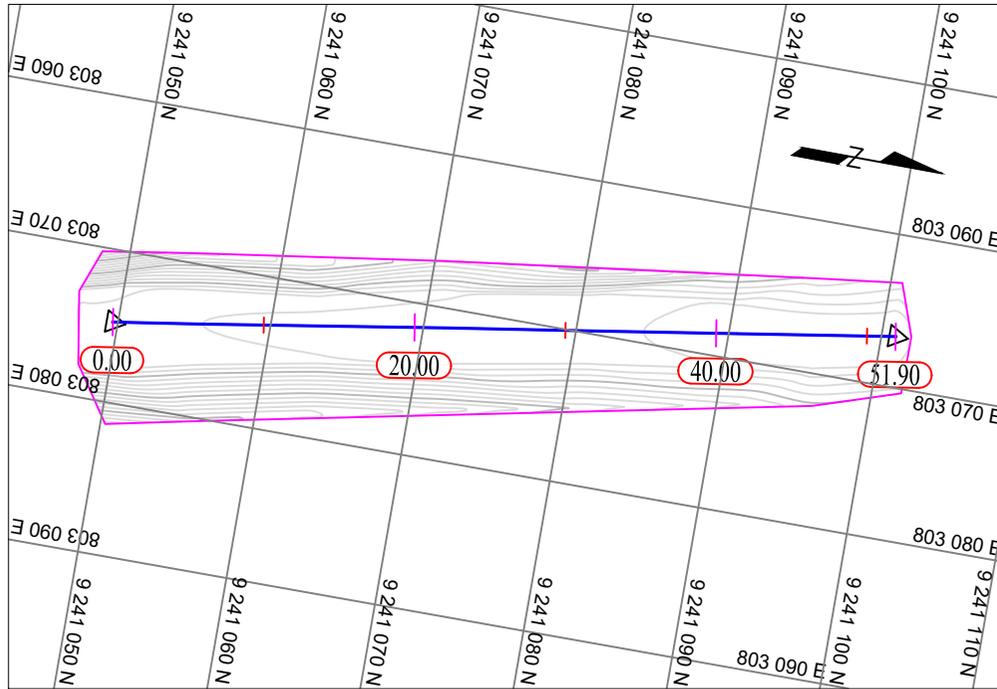
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

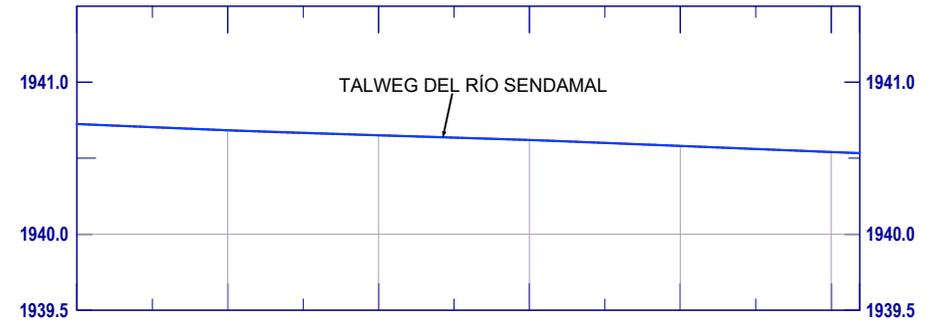
- S: Pendiente media del cauce
- Li: Longitud del tramo i
- Si: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO E - 05				
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	2079.644		
10.00	10.00	2079.613	0.0031	0.0557
10.00	20.00	2079.579	0.0034	0.0583
10.00	30.00	2079.533	0.0046	0.0678
10.00	40.00	2079.486	0.0047	0.0686
10.00	50.00	2079.437	0.0049	0.0700
4.98	54.98	2079.414	0.0046	0.0680
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0041	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 06
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	1.90
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	51.90
COTA TALWEG	1940.684	1940.651	1940.620	1940.581	1940.541	1940.533
PENDIENTE	-0.41%	-0.33%	-0.31%	-0.39%	-0.40%	-0.40%

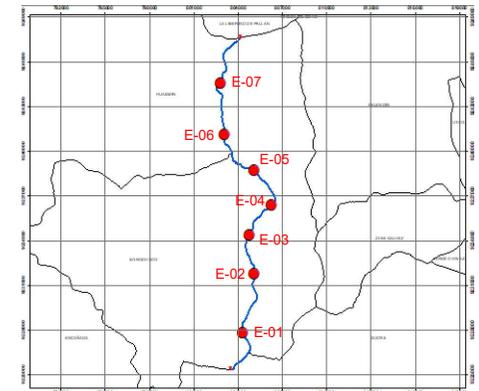
Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

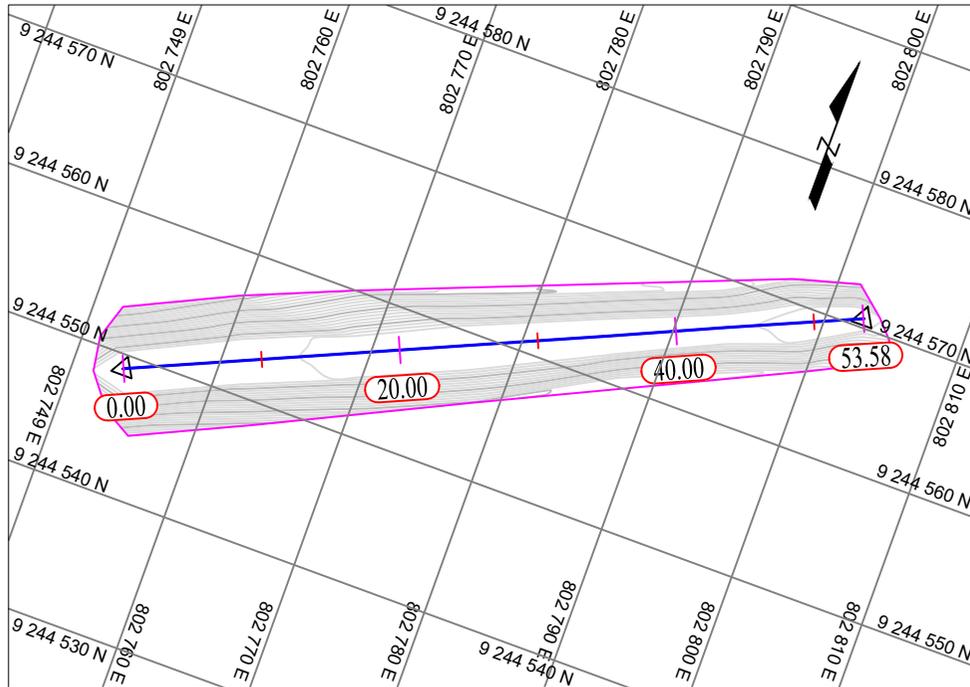
$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

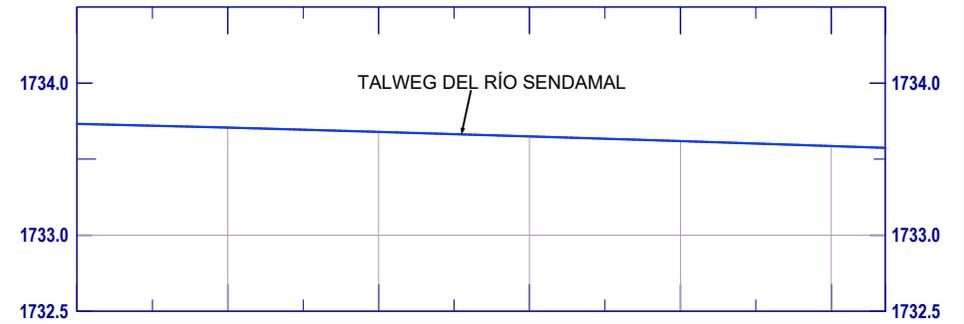
- S: Pendiente media del cauce
- L_i: Longitud del tramo i
- S_i: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO E - 06				
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	1940.725		
10.00	10.00	1940.684	0.0041	0.0640
10.00	20.00	1940.651	0.0033	0.0574
10.00	30.00	1940.62	0.0031	0.0557
10.00	40.00	1940.581	0.0039	0.0624
10.00	50.00	1940.541	0.0040	0.0632
1.90	51.90	1940.533	0.0042	0.0649
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0037	





PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL RÍO SENDAMAL E - 07
ESCALA H:1/500; ESCALA V:1/50



DISTANCIA PARCIAL	10.00	10.00	10.01	9.99	10.00	3.58
DISTANCIA ACUMULADA	10.00	20.00	30.01	40.00	50.00	53.58
COTA TALWEG	1733.732	1733.708	1733.679	1733.650	1733.619	1733.574
PENDIENTE	-0.24%	-0.28%	-0.30%	-0.31%	-0.33%	-0.35%

Según Villón (2004) la pendiente media del cauce del río se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

- S: Pendiente media del cauce
- L_i: Longitud del tramo i
- S_i: Pendiente del tramo i

PENDIENTE DEL TRAMO DEL CAUCE EN LOS PUNTOS DE AFORO CON ESTACIÓN TOTAL LEICA TS 06				
PUNTO DE AFORO E - 07				
DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA TOTAL	ALTITUD	PENDIENTE DEL TRAMO	S ^{1/2}
0.00	0.00	1733.732		
10.00	10.00	1733.708	0.0024	0.0490
10.00	20.00	1733.679	0.0029	0.0539
10.00	30.00	1733.650	0.0029	0.0539
10.00	40.00	1733.619	0.0031	0.0557
10.00	50.00	1733.586	0.0033	0.0574
3.58	53.58	1733.574	0.0034	0.0579
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (S) =			0.0029	

