



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD  
BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL  
LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023**

**Para optar el Título profesional de: Ingeniera Civil**

**Presentado por:**

**Bach. Pocomucha Quinte Liz Leydi**

**(ORCID: 0009-0005-4625-9645)**

**Asesor:**

**PhD. Mallma Capcha Tito**

**(ORCID:0000-001-7301-889)**

**Línea de Investigación: Hidráulica**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2024**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PROFESIONAL EN INGENIERIA CIVIL

En Huancayo, a los dieciocho días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, siendo las 12:00 m., se reunieron en forma presencial en el aula 101 de la Facultad (I.S.T. "San Pedro"), para la sustentación de tesis, los siguientes miembros del Jurado:

PRESIDENTE	:	Ph.D. TITO MALLMA CAPCHA
SECRETARIO	:	Mg. MIGUEL ÁNGEL CURI ROSALES
JURADO	:	Ph.D. TITO MALLMA CAPCHA
JURADO	:	MSc. AUGUSTO ELIAS GARCÍA CORZO
JURADO	:	Mg. JOB PÉREZ CANCHANYA

Para evaluar la sustentación de la TESIS presentado por:

**LA BACHILLER: Liz Leydi POCOMUCHA QUINTE**

Previamente, el Señor presidente del Jurado examinador, solicitó al Secretario Docente dar lectura a la Resolución Digital N° 0326-2024-DFIC/UNCP. A continuación, se invitó al examinado, a sustentar su Tesis Titulada "MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO, 2023", Después de realizada la sustentación, absolvió las preguntas de los jurados y tomó conocimiento de las observaciones.

A continuación, el Presidente del jurado, solicitó al sustentante abandonar el salón para que pueda deliberar el resultado de la evaluación, siendo el siguiente:

Calificación	:	24 PUNTOS
Con denominación	:	APROBADO POR UNANIMIDAD.

Se invitó al sustentante a volver al aula 101 de la Facultad (I.S.T.P. "San Pedro"), para escuchar el veredicto de la evaluación, con el cual terminó el procedimiento.

Siendo las 13:10 p.m. del mismo día, se dio por concluida la sustentación, procediendo a firmar los jurados en señal de conformidad.

Ph.D. TITO MALLMA CAPCHA

Mg. MIGUEL ANGEL CURI ROSALES

Ph.D. TITO MALLMA CAPCHA

MSc. AUGUSTO ELIAS GARCIA CORZO

Mg. JOB PÉREZ CANCHANYA



**“Año del Bicentenario de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”**

INFORME N° 030-2024-TMC-FIC/UNCP

**A : Dr. TITO MALLMA CAPCHA  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**DE : Ph.D. TITO MALLMA CAPCHA  
DOCENTE ASESOR DE TESIS**

**ASUNTO : INFORME DE PORCENTAJE DE TURNITIN**

**REFERENCIA : RESOLUCIÓN N° 0101-2024-DFIC/UNCP**

**FECHA : Huancayo, 20 de octubre de 2024**

---

Por medio del presente me dirijo a usted a fin de informarle en mi condición de asesor de la tesis titulado **“MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023”**, desarrollado por la bachiller **Pocomucha Quinte Liz Leydi**, el mismo que fue revisado e ingresado al turnitin el cual arroja una similitud de un 24%, el mismo que se adjunta.

Es todo cuanto puedo informar para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,

**Ph.D. Tito Mallma Capcha**  
Docente Asesor de Tesis

cc. -Archivo

# TESIS POCOMUCHA QUINTE LIZ.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	12%
2	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://servicio.bc.uc.edu.ve">servicio.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.senamhi.gob.pe">repositorio.senamhi.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

*Handwritten signature*

10	repositoriotec.tec.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
11	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
13	biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
14	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	documents.tips Fuente de Internet	<1 %
17	Jorge Eduardo Fernández Cardona. "Modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la altura del material del fondo del cauce del río Achiguate-Guacalate", Agua, Saneamiento & Ambiente, 2022 Publicación	<1 %
18	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
19	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %

*Ayub*

63

Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana

Trabajo del estudiante

<1 %

64

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

65

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

**DEDICATORIA**

A mis padres, por su esfuerzo y ser mi soporte en este largo camino, a mi hermana, hermano, docentes y amigos por su constante apoyo y motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien me brinda la oportunidad de vivir y me concede salud, así como una familia maravillosa que me motiva a seguir adelante.

A mi madre Justina por su esfuerzo y motivación desde el primer día que inicie la carrera, a mi padre Valentín por preocuparse siempre por mi salud y bienestar, a mis hermanos Yuliza y Frank por su apoyo incondicional.

A mis abuelos por ser mi fortaleza para seguir mis sueños y mis metas, que desde el cielo me dan fuerzas para continuar con mis logros.

Agradezco a mi asesor PhD. Tito Mallma Capcha por el apoyo de la elaboración de esta investigación, a mis docentes y técnicos de laboratorio de mi querida Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú quienes me brindaron los conocimientos necesarios para afrontar diferentes desafíos en esta etapa profesional.

A mis amigas y amigos por el apoyo y disposición para realizar trabajos de campo y motivación para continuar con la investigación.

## RESUMEN

La investigación titulada “MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023” tuvo como objetivo desarrollar un modelo para estimar el coeficiente de rugosidad del lecho fluvial del río Chilca. Se aplicó una metodología basada en el método científico, de tipo aplicada, de nivel correlacional y un diseño no experimental de corte transversal. El estudio se realizó en un tramo de aproximadamente 1 km en la cuenca media del río Chilca, ubicado en la zona urbana del distrito de Chilca, optando por un muestreo no probabilístico. El modelo se desarrolló estableciendo la relación entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo para los cuales, se utilizó un correntómetro, estación total y observaciones en campo además del análisis granulométrico del lecho fluvial del río. El resultado principal fue el modelo potencial  $n = 0.0349(d_{10})^{0.152}$ , donde el diámetro efectivo  $d_{10}$  representaba el 10% más pequeño de las partículas del lecho fluvial teniendo una relación fuerte. Así mismo se aceptó la hipótesis planteada mediante el análisis estadístico del t de Student. Se concluyó que los coeficientes de rugosidad obtenidos mediante el modelo desarrollado fueron similares a los obtenidos por modelos teóricos. Finalmente, el coeficiente de rugosidad estimado para el río Chilca fue  $n = 0.068$ , valor que es relevante para el diseño de infraestructuras hidráulicas y la elección adecuada de estructuras de protección

**Palabras claves:** Correntómetro, Diámetro efectivo, Coeficiente de rugosidad.

## ABSTRACT

The research entitled “ROUGHNESS COEFFICIENT ESTIMATION MODEL BASED ON THE SURFACE CHARACTERISTICS OF THE FLUVIAL BED OF THE CHILCA RIVER - HUANCAYO, 2023” had the objective of developing a model to estimate the roughness coefficient of the fluvial bed of the Chilca River. A methodology based on the scientific method, applied, correlational level and a non-experimental cross-sectional design was applied. The study was carried out in a section of approximately 1 km in the middle basin of the Chilca river, located in the urban area of the district of Chilca, opting for a non-probabilistic sampling. The model was developed by establishing the relationship between the roughness coefficient and the effective diameter for which a current meter, total station and field observations were used in addition to the granulometric analysis of the river bed. The main result was the potential model  $n = 0.0349(d_{10})^{0.152}$  where the effective diameter  $d_{10}$  represented the smallest 10% of the particles in the riverbed having a strong relationship. Likewise, the hypothesis was accepted by means of Student's t statistical analysis. It was concluded that the roughness coefficients obtained by the developed model were similar to those obtained by theoretical models. Finally, the roughness coefficient estimated for the Chilca river was  $n = 0.068$ , a value that is relevant for the design of hydraulic infrastructures and the adequate choice of protection structures.

Key words: Current meter, Effective diameter, Roughness coefficient.

## INTRODUCCION

La presente investigación, denominada "Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo, 2023", tiene como objetivo desarrollar un modelo para estimar el coeficiente de rugosidad considerando las características superficiales del lecho fluvial. El principal problema que enfrenta el distrito de Chilca es la deficiencia en el funcionamiento de sus estructuras hidráulicas, evidenciada en los desbordes del río durante épocas de lluvia, lo cual afecta principalmente a la población local.

Elegir un coeficiente de rugosidad adecuado para cada situación es un desafío, ya que el diseño de estructuras hidráulicas suele basarse en tablas establecidas sin considerar las particularidades de cada río. Esto puede llevar a consecuencias graves por diseños deficientes. Elegir el coeficiente de rugosidad es crucial porque expresa la resistencia del cauce al flujo.

La metodología empleada para esta investigación incluye varias etapas. En primer lugar, se selecciona la zona de estudio en la cuenca media del río Chilca, específicamente en un tramo no canalizado. Luego, se realiza un levantamiento topográfico de aproximadamente 1 km. A continuación, se seleccionan cinco secciones específicas para la recolección de datos de campo. Entre los datos, se medirá la velocidad del agua utilizando un correntómetro. Las velocidades se registrarán al 20%, 60% y 80% de la profundidad del flujo para obtener una velocidad media precisa.

Posteriormente, se extraen muestras del lecho fluvial para realizar un análisis granulométrico y obtener el diámetro efectivo de los sedimentos, información que se utilizará para establecer la relación con el coeficiente de rugosidad. Finalmente, se desarrollará un modelo basado en una regresión no lineal, lo que permitirá calcular el coeficiente de rugosidad específico para la cuenca media del río Chilca.

La importancia de esta investigación radica en que proporciona un modelo que facilita la estimación precisa del coeficiente de rugosidad, clave para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas, considerando las características propias del lecho fluvial del río.

Para facilitar la comprensión, la investigación se estructura en siete capítulos:

Capítulo I-Generalidades: En este capítulo se detalla aspectos generales.

Capítulo II-Problema de Investigación: En esta parte se describe la realidad problemática, planteando la pregunta general y preguntas específicas seguidamente se detallará los objetivos, justificaciones, delimitaciones y la importancia de la investigación.

Capítulo III-Hipótesis y variables: En este apartado se considera las hipótesis y la operacionalización de las variables.

Capítulo IV-Marco teórico: Este capítulo comprende antecedentes nacionales e internacionales, bases teóricas y se define términos básicos.

Capítulo V-Metodología: En esta parte se detalla la metodología, método, también el tipo, además del nivel y diseño de esta Investigación, se considera la población como también la muestra, técnicas e instrumentos, métodos de análisis y aspectos éticos.

Capítulo VI-Análisis, resultados y discusiones: Comprende en detallar el área de estudio y sus parámetros, además del análisis de los mismo, resultados y discusiones.

Capítulo VII -Conclusiones y recomendaciones: Finalmente se da a conocer conclusiones y recomendación de la investigación

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>vi</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>viii</b>
<b>CONTENIDO DE TABLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>CONTENIDO DE FIGURAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1. Título .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. Personal investigador.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. Línea de investigación.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4. Lugar de ejecución del proyecto .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Descripción de la realidad problemática .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Pregunta de investigación.....</b>	<b>19</b>
2.2.1. Pregunta general.....	19
2.2.2. Preguntas específicas .....	19
<b>2.3. Objetivos de investigación.....</b>	<b>20</b>
2.3.1. Objetivo general .....	20
2.3.2. Objetivos específicos .....	20
<b>2.4. Justificación .....</b>	<b>20</b>
2.4.1. Justificación teórica .....	20
2.4.2. Justificación práctica .....	20
2.4.3. Justificación metodológica .....	21
<b>2.5. Delimitación.....</b>	<b>21</b>
2.5.1. Delimitación conceptual .....	21
2.5.2. Delimitación espacial.....	21
2.5.3. Delimitación temporal.....	21
<b>2.6. Importancia.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Hipótesis.....</b>	<b>22</b>
3.1.1. Hipótesis general.....	22

3.1.2. Hipótesis específicas.....	22
<b>3.2. Variables .....</b>	<b>22</b>
<b>CAPITULO IV. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Antecedentes del problema .....</b>	<b>24</b>
4.1.1. Antecedentes nacionales .....	24
4.1.2. Antecedentes internacionales .....	26
<b>4.2. Bases teóricas.....</b>	<b>28</b>
4.2.1. Cuenca.....	28
4.2.2. Río.....	29
4.2.3. Morfología fluvial .....	29
4.2.4. Elementos geométricos de una sección de un canal .....	29
4.2.5. Pendiente del cauce.....	30
4.2.6. Flujo uniforme.....	30
4.2.7. Cálculo de flujo uniforme.....	30
4.2.8. Desarrollo del flujo uniforme mediante ecuaciones .....	31
4.2.9. Interpretación teórica del coeficiente de rugosidad de Manning .....	32
4.2.10. Medición de velocidad y determinación de caudal en canales naturales	33
4.2.11. Molinete o Correntómetro digital .....	35
4.2.12. Coeficiente de Rugosidad .....	39
4.2.13. Métodos de cálculo del coeficiente de Manning" n" .....	39
4.2.14. Coeficiente de rugosidad en máximas avenidas.....	45
4.2.15. Lecho de río .....	46
4.2.16. Granulometría del lecho del río .....	47
4.2.17. Correlación y regresión .....	51
4.2.18. Coeficiente de correlación (r).....	51
4.2.19. Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) .....	52
4.2.20. Regresión lineal simple .....	52
<b>4.3. Definición de términos básicos .....</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO V. METODOLOGÍA.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1. Método de investigación .....</b>	<b>56</b>
<b>5.2. Tipo de investigación .....</b>	<b>56</b>
<b>5.3. Nivel de investigación .....</b>	<b>56</b>
<b>5.4. Diseño de la investigación .....</b>	<b>56</b>
<b>5.5. Población, muestra y muestreo .....</b>	<b>57</b>

5.5.1. Población .....	57
5.5.2. Muestra .....	57
5.5.3. Muestreo .....	57
<b>5.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>57</b>
5.6.1. Técnicas.....	57
5.6.2. Instrumentos de recolección de datos.....	58
5.6.3. Validez .....	58
5.6.4. Confiabilidad.....	58
<b>5.7. Procedimiento de recolección de datos .....</b>	<b>58</b>
5.7.1. Fase de Pre campo .....	58
5.7.2. Fase de Campo.....	59
5.7.3. Fase de Gabinete o Procesamiento de datos .....	59
<b>5.8. Métodos de análisis .....</b>	<b>61</b>
<b>5.9. Aspectos éticos.....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO VI. ANALISIS, RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>6.1. Breve descripción de la zona de estudio .....</b>	<b>62</b>
6.1.1. Ubicación .....	62
6.1.2. Descripción de la zona de estudio.....	62
<b>6.2. Estudios previos .....</b>	<b>63</b>
6.2.1. Estudios de campo.....	63
<b>6.3. Estudios de laboratorio .....</b>	<b>68</b>
6.3.1. Análisis granulométrico .....	68
6.3.2. Diámetros efectivos del lecho de fondo del Rio Chilca.....	69
6.3.3. Límites de Atterberg del lecho de fondo del Rio Chilca.....	69
<b>6.4. Análisis de la información.....</b>	<b>71</b>
6.4.1. Parámetros hidráulicos de las secciones transversales .....	71
6.4.2. Cálculo de Área mojada, Perímetro mojado y Radio Hidráulico.....	73
6.4.3. Coeficiente de rugosidad por método de medición de velocidades... 73	
6.4.4. Coeficiente de rugosidad por método de ecuación de Manning.....	73
6.4.5. Coeficiente de rugosidad por método de Cowan.....	74
6.4.6. Relación de los coeficientes de rugosidad con los diámetros efectivos de lecho de rio .....	74
<b>6.5. Resultados.....</b>	<b>98</b>
6.5.1. Obtención del Modelo de Estimación del coeficiente de rugosidad en función al lecho fluvial.....	98

6.5.2. Validación del modelo de Estimación del coeficiente de rugosidad en función al lecho fluvial.....	100
6.5.3. Comparativo entre los coeficientes de rugosidad de Manning .....	101
<b>6.6. Discusiones .....</b>	<b>102</b>
6.6.1. Discusión 1 .....	102
6.6.2. Discusión 2.....	102
6.6.3. Discusión 3.....	103
6.6.4. Discusión 4.....	103
<b>6.7. Análisis Estadísticos .....</b>	<b>104</b>
6.7.1. Contraste de hipótesis.....	104
<b>CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>112</b>
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>112</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 2: Instrumento de investigación .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 3: Fichas de Laboratorio .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO 4: Planos .....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO 5: Panel Fotográfico.....</b>	<b>137</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de Variables</i> .....	23
<b>Tabla 2</b> <i>Tabla que muestra la relación entre el número de verticales necesarias para evaluar la velocidad y la anchura superficial del río.</i> .....	35
<b>Tabla 3</b> <i>Número de mediciones de velocidad requeridas según la profundidad del curso de agua</i> .....	35
<b>Tabla 4</b> <i>Tabla de Cowan, que permite evaluar el impacto de varios factores en el coeficiente "n"</i> .....	40
<b>Tabla 5</b> <i>Valores del coeficiente de rugosidad "n"</i> .....	45
<b>Tabla 6</b> <i>Clasificación del American Geophysical Unión para sedimentarios</i> .....	49
<b>Tabla 7</b> <i>Ubicación de los puntos de aforo</i> .....	65
<b>Tabla 8</b> <i>Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-01</i> .....	66
<b>Tabla 9</b> <i>Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-02</i> .....	66
<b>Tabla 10</b> <i>Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-03</i> .....	67
<b>Tabla 11</b> <i>Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-04</i> .....	67
<b>Tabla 12</b> <i>Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-05</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Pendientes</i> .....	68
<b>Tabla 14</b> <i>Diámetros representativos de las partículas</i> .....	69
<b>Tabla 15</b> <i>Resumen de Limites de Atterberg</i> .....	70
<b>Tabla 16</b> <i>Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-01</i> .....	71
<b>Tabla 17</b> <i>Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-02</i> .....	71
<b>Tabla 18</b> <i>Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-03</i> .....	72
<b>Tabla 19</b> <i>Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-04</i> .....	72
<b>Tabla 20</b> <i>Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-05</i> .....	72
<b>Tabla 21</b> <i>Área mojada (A), Perímetro mojado(P) y el Radio hidráulico (R) en cada sección transversal</i> .....	73
<b>Tabla 22</b> <i>Coeficiente de rugosidad de Manning por el método de la medición de velocidades</i> .....	73
<b>Tabla 23</b> <i>Coeficiente de rugosidad de Manning por el método de la ecuación de Manning</i> .....	73
<b>Tabla 24</b> <i>Coeficiente de rugosidad por el método de Cowan</i> .....	74

<b>Tabla 25</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Lineal que asocia el coeficiente de rugosidad de Manning (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	94
<b>Tabla 26</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Lineal que asocia el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuacion. de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	95
<b>Tabla 27</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Lineal que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning (Método de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	95
<b>Tabla 28</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Exponencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	95
<b>Tabla 29</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Exponencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuacion de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	96
<b>Tabla 30</b> <i>Evaluación estadística del Modelo Exponencial entre el coeficiente de rugosidad de Manning (Método de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	96
<b>Tabla 31</b> <i>Evaluación estadística del modelo potencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Med. de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	96
<b>Tabla 32</b> <i>Evaluación estadística del modelo potencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuacion de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	97
<b>Tabla 33</b> <i>Evaluación estadística del modelo potencial que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning por el Método de Cowan y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	97
<b>Tabla 34</b> <i>Evaluación estadística del modelo logarítmico que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning por el método de (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	97
<b>Tabla 35</b> <i>Evaluación estadística del modelo logarítmico que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuacion de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	98
<b>Tabla 36</b> <i>Evaluación estadística del modelo logarítmico que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Met. de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.</i> .....	98
<b>Tabla 37</b> <i>Modelos de regresión por cada método de estimación desarrollado.</i> .....	99
<b>Tabla 38</b> <i>Estimación de n de Manning con los modelos encontrados.</i> .....	100
<b>Tabla 39</b> <i>Coficiente de rugosidad calculado por 3 métodos (Medición de velocidades, Ecuacion de Manning y Met. de Cowan.</i> .....	101
<b>Tabla 40</b> <i>Coficiente de rugosidad calculado por formulas teóricas</i> .....	101
<b>Tabla 41</b> <i>Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk del coeficiente de relación de los modelos y el diámetro efectivo.</i> .....	105

<b>Tabla 42</b> <i>Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student</i> .....	106
<b>Tabla 43</b> <i>Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo</i> .....	107
<b>Tabla 44</b> <i>Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student</i> .....	108
<b>Tabla 45</b> <i>Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre los valores del modelo propuesto y valores establecidos por Chow (2004)</i> .....	109
<b>Tabla 46</b> <i>Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student</i> .....	109
<b>Tabla 47</b> <i>Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre el modelo propuesto y los modelos Teóricos</i> .....	110
<b>Tabla 48</b> <i>Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student</i> .....	111

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Distribución típica de velocidad en una corriente natural que más se asemeja a la realidad.....</i>	33
<b>Figura 2</b> <i>Molinete Digital FP.101 .....</i>	36
<b>Figura 3</b> <i>Selección de la sección transversal para aforos .....</i>	38
<b>Figura 4</b> <i>Sección transversal en el punto de aforo .....</i>	38
<b>Figura 5</b> <i>Variación de la rugosidad de Manning durante una avenida.....</i>	46
<b>Figura 6</b> <i>Conexiones topográficas entre diversos lechos en la llanura aluvial funcional. ....</i>	46
<b>Figura 7</b> <i>Líneas imaginarios de una partícula.....</i>	47
<b>Figura 8</b> <i>Variabilidad discreta o continua en las dimensiones (izquierda) y representación acumulada de la curva granulométrica continua (derecha). ....</i>	48
<b>Figura 9</b> <i>Tipos de curvas granulométricas.....</i>	50
<b>Figura 10</b> <i>Suelo bien graduado .....</i>	51
<b>Figura 11</b> <i>Suelos de graduación uniforme.....</i>	51
<b>Figura 12</b> <i>Suelos de graduación discontinua.....</i>	51
<b>Figura 13</b> <i>Tramo de estudio, zona inundable-Rio Chilca.....</i>	62
<b>Figura 14</b> <i>Realidad: Sacos de arena para prevenir inundaciones .....</i>	63
<b>Figura 15</b> <i>Levantamiento topográfico de la zona de estudio-Rio Chilca.....</i>	64
<b>Figura 16</b> <i>Relación entre el coeficiente de rugosidad y el límite líquido .....</i>	70
<b>Figura 17</b> <i>Relación entre el coeficiente de rugosidad y el límite plástico .....</i>	70
<b>Figura 18</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición. de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> obtener ecuaciones lineales. ....</i>	75
<b>Figura 19</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> obtener ecuaciones lineales. ....</i>	75
<b>Figura 20</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> obtener ecuaciones lineales.....</i>	76
<b>Figura 21</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math> <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> obtener ecuaciones lineales. ....</i>	77
<b>Figura 22</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math> <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> obtener ecuaciones lineales.....</i>	78
<b>Figura 23</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math> <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> obtener ecuaciones lineales.....</i>	79
<b>Figura 24</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math> <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones exponenciales. ....</i>	80

<b>Figura 25</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones exponenciales.</i>	80
<b>Figura 26</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones exponenciales.</i>	81
<b>Figura 27</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones exponenciales.</i>	82
<b>Figura 28</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones exponenciales.</i>	83
<b>Figura 29</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones exponenciales.</i>	83
<b>Figura 30</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	84
<b>Figura 31</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	85
<b>Figura 32</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	86
<b>Figura 33</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	87
<b>Figura 34</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	87
<b>Figura 35</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones potenciales.</i>	88
<b>Figura 36</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	89
<b>Figura 37</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	90
<b>Figura 38</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	91
<b>Figura 39</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	91
<b>Figura 40</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{10}</math>, <math>d_{30}</math> y <math>d_{50}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	92
<b>Figura 41</b> <i>Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos <math>d_{60}</math>, <math>d_{84}</math> y <math>d_{90}</math> para obtener ecuaciones logarítmicas.</i>	93
<b>Figura 42</b> <i>Relación entre los modelos determinados y el <math>n</math> de Manning</i>	100
<b>Figura 43</b> <i>Levantamiento topográfico del Rio Chilca</i>	137

<b>Figura 44</b> <i>Equipos de Topográficos como estación total y prismas.....</i>	137
<b>Figura 45</b> <i>Extracción de muestras en los puntos de aforos Punto de Aforo PA-01.....</i>	138
<b>Figura 46</b> <i>Extracción de muestras del lecho fluvial del rio chilca en el punto de aforo PA-02 .....</i>	138
<b>Figura 47</b> <i>Extracción de muestras de las piedras, gravas, etc. para ensayo de granulometría del rio Chilca en el punto de aforo PA-04. ....</i>	139
<b>Figura 48</b> <i>Muestras de los 5 puntos de Aforo para el ensayo de granulometría y límites. ....</i>	139
<b>Figura 49</b> <i>Colocado de muestras al horno para luego realizar ensayos de granulometría.....</i>	140
<b>Figura 50</b> <i>Ensayo de granulometría en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú.....</i>	140
<b>Figura 51</b> <i>Ensayo de límites: Limite líquido y plástico .....</i>	141
<b>Figura 52</b> <i>Medición de velocidades con el correntómetro a 0.2y,0.6y y a 0.8y. ...</i>	141
<b>Figura 53</b> <i>Medición de velocidad a diferentes alturas en punto de aforo PA-03... </i>	142
<b>Figura 54</b> <i>Medición de velocidades en el punto de aforo PA-05. ....</i>	142

## **CAPITULO I. GENERALIDADES**

### **1.1. Título**

Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del Río Chilca-Huancayo,2023.

### **1.2. Personal investigador**

Bach. Pocomucha Quinte Liz Leydi

### **1.3. Línea de investigación**

Infraestructura Civil Sostenible

### **1.4. Lugar de ejecución del proyecto**

Se ubica en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo-departamento Junín.

## **CAPITULO II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Descripción de la realidad problemática**

Uno de los parámetros más importantes para diseñar diferentes estructuras hidráulicas es el coeficiente de rugosidad. Generalmente, determinar este coeficiente de rugosidad implica gran dificultad debido a la diversidad de sedimentos que constituyen el lecho del río, por lo que, a falta de datos, se recurre a tablas que generan incertidumbre al momento de realizar el modelamiento hidráulico y diseños de estructuras hidráulicas.(Burgos y Vásquez, 2021)

A nivel mundial, uno de los desafíos más comunes que enfrentan los profesionales al realizar diversos diseños y modelamientos hidráulicos es la selección del coeficiente de rugosidad. Sin embargo, en la actualidad, existen estudios en los que se ha estimado dicho coeficiente mediante fórmulas empíricas exclusivamente aplicado en grandes ríos del sur de Venezuela. (Osio et al., 2000)

En nuestro país existen pocos estudios, un ejemplo es la investigación de la Correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca-Perú, lo cual resulta sencillo de aplicar al usar únicamente el diámetro efectivo del material que se encuentra en el lecho del río. Hasta ahora, esta relación ha generado ecuaciones que permitió calcular

coeficientes de rugosidad únicamente el río de Chonta ,dejando un vacío del conocimiento en otros ríos del Perú (Díaz et al., 2020)

En la región Junín solo se cuenta con un estudio de la rugosidad en ríos de alta pendiente, sin embargo, este es insuficiente ya que el estudio se enfoca en un tramo del río Mantaro (puente Matachico - Puente la breña), dejando de lado otras subcuencas de vital importancia en la misma ciudad de Huancayo.

A nivel local, no existe investigaciones referentes al desarrollo de modelos de estimación del coeficiente basadas en las características superficiales del lecho fluvial, particularmente en el caso del río Chilca. Por lo tanto, sería de gran importancia llevar a cabo estudios que permitan contribuir con el diseño de estructuras hidráulicas. Es evidente en la actualidad que la consideración de las estructuras existentes presenta problemas de diseño, específicamente en la determinación del nivel de agua, al momento de las crecidas en el río Chilca, pues a pesar de existir elementos de contención (muros), muchas veces son sobrepasados por dicho nivel.

Con todo lo mencionado, esta investigación tiene por finalidad desarrollar un modelo para estimar el coeficiente de rugosidad basadas en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca. Este estudio es esencial para proporcionar valores acordes a la realidad que permita tomar decisiones importantes de manera informada en la planificación y el diseño de estructuras hidráulicas en el río Chilca.

## **2.2. Pregunta de investigación**

### **2.2.1. Pregunta general**

¿Cuál es el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?

### **2.2.2. Preguntas específicas**

- a) ¿Cuál es la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?
- b) ¿Cuáles son los valores obtenidos mediante el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?
- c) ¿De qué manera se puede contrastar el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?

## **2.3. Objetivos de investigación**

### **2.3.1. Objetivo general**

Desarrollar el modelo para estimar el coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del Río Chilca-Huancayo,2023.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar la relación entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.
- b) Calcular valores mediante el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.
- c) Contrastar el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.

## **2.4. Justificación**

### **2.4.1. Justificación teórica**

Con relación al problema, esta investigación contribuye en generar nuevos conocimientos y metodologías que mediante el modelo se estima valores de coeficientes de rugosidad, con el propósito de que estos valores permitan conocer el comportamiento hidráulico y se ajuste a las condiciones reales del río Chilca.

### **2.4.2. Justificación práctica**

En la presente investigación se da solución a la problemática que viene atravesando la población por inundaciones y desbordes del río Chilca, desarrollando un modelo que nos permita estimar coeficientes de rugosidad en la cuenca media basada en las características superficiales del lecho fluvial.

El desarrollo de este modelo permite estimar el coeficiente de rugosidad, considerando las particularidades del lecho fluvial, además facilita el diseño y la construcción de infraestructuras más eficientes y adecuadas a las necesidades de la población. Esto no solo beneficia a los especialistas y profesionales del área de hidráulica, sino también a las personas que dependen de estas estructuras para la protección y gestión de su entorno frente a eventos naturales.

### **2.4.3. Justificación metodológica**

Se utiliza el método de sección-velocidad como enfoque de estudio, mediante el cual se analiza tanto la sección transversal como la velocidad del río Chilca de forma independiente; la sección se da por medio del levantamiento topográfico y para medir la velocidad se emplea un instrumento llamado correntómetro, seguidamente se extrae muestras del lecho fluvial para realizar ensayos de granulometría y consistencia; a partir de la relación se desarrolla el modelo para estimar el coeficiente de rugosidad.

## **2.5. Delimitación**

### **2.5.1. Delimitación conceptual**

Esta Investigación abarcó teorías, conocimientos, principios, fórmulas y metodologías referidas al desarrollo de un modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca.

### **2.5.2. Delimitación espacial**

La presente investigación se realizó en la cuenca media del río Chilca, zona urbana aproximadamente 1 km perteneciente a la zona de riesgo propenso a sufrir desbordes del río

### **2.5.3. Delimitación temporal**

Se recopiló información y se desarrolló la presente investigación desde el mes de diciembre del 2023 hasta el mes de setiembre del 2024.

## **2.6. Importancia**

La importancia de esta investigación radica en desarrollar un modelo para estimar el coeficiente de rugosidad apropiado al diseño de estructuras hidráulicas.

Es necesario contar con un coeficiente de rugosidad adecuado, ya que este parámetro afecta directamente a la estimación del caudal de los ríos. Un cálculo preciso del caudal es fundamental para garantizar el funcionamiento óptimo y seguro de las estructuras hidráulicas.

El aporte de esta presente investigación se centra en la importancia de obtener valores de coeficiente de rugosidad acordes a las características del lecho fluvial del río en estudio. Al lograr esto, se optimiza el mantenimiento de los ríos, evitando la acumulación de residuos sólidos y asegurando que el cauce siga su curso natural. De esta manera, se reduce los riesgos de desbordes e inundaciones. Además, se proporciona datos esenciales para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

## CAPITULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

El modelo de estimación del coeficiente de rugosidad está relacionado con el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca, Huancayo.

#### 3.1.2. Hipótesis específicas

- a) La relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca es fuerte.
- b) Los valores obtenidos mediante el modelo propuesto son aquellos que están en el rango aceptable acorde a las características del lecho fluvial del río Chilca, Huancayo.
- c) El modelo se contrasta comparando los valores calculados mediante el modelo propuesto con los valores obtenidos a través de métodos teóricos, asegurando que ambos sean aproximados.

### 3.2. Variables

#### Variable independiente: V1: Lecho fluvial

Definición conceptual: El lecho fluvial presenta una composición granular o cohesiva, que lo conforma partículas sueltas de diversas dimensiones. (Guívar, 2023, p. 39)

Definición Operacional: El lecho se medirá de acuerdo a la gradación de las partículas del cual se obtendrá diámetros efectivos.

#### Variable dependiente: V2: Coeficiente de Rugosidad

Definición conceptual: La rugosidad se refiere al nivel de oposición que presentan las superficies de las paredes y el lecho del canal al paso del fluido. Se denomina como "n" al coeficiente de rugosidad siendo un parámetro que determina la facilidad o dificultad el desplazamiento del agua (Martínez y Solano, 2020, p. 20)

Definición Operacional: Se recolecta datos y parámetros geométricos del río como: El ancho, perímetro mojado, tirante hidráulico y velocidades a diversas profundidades. El coeficiente de rugosidad se determina con métodos como el de velocidades, ecuación de Manning y el método de Cowan.

Tabla 1

## Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
<b>Variable independiente:</b> LECHO FLUVIAL	El lecho fluvial presenta una composición granular o cohesiva, que lo conforma partículas sueltas de diversas dimensiones. (Guívar, 2023, p. 39)	El lecho fluvial se ubica comúnmente en la parte inferior de los valles o ríos, donde fluye corriente de agua impulsada por la gravedad. El lecho se medirá de acuerdo a la gradación, consistencia e irregularidad de las partículas	D1: Gradación	I1: Finos	Tamices	- mm
				I2: Arenas		- mm
				I3: Gravas		- mm
			D2: Consistencia	I1: Limite liquido	Copa Casagrande	- %
				I2: Limite plástico	Horno	- %
				I3: Índice de Plasticidad	Fichas de laboratorio	- %
<b>Variable dependiente:</b> COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	La rugosidad se refiere al nivel de oposición que presentan las superficies de las paredes y el lecho del canal al paso del fluido. Se denomina como "n" al coeficiente de rugosidad siendo un parámetro que determina la facilidad o dificultad el desplazamiento del agua (Martinez y Solano, 2020, p. 20).	Se recolecta datos y parámetros geométricos del rio como: El ancho, perímetro mojado, tirante hidráulico y velocidades a diversas profundidades. El coeficiente de rugosidad se determina con métodos como el de velocidades, ecuación de Manning y el método de Cowan	D1: Caudal	I1: Velocidad	Correntómetro	- m/s
				I2: Área	Estación total	- m2
			D2: Pendiente	I1: Alta	Estación total	- %
				I2: Media	Estación total	- %
				I3: Baja	Estación total	- %

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Antecedentes del problema

#### 4.1.1. Antecedentes nacionales

Guívar (2023), en la tesis titulada “Rugosidad de Manning en el cauce del río cajamarquino, tramo puente Llacanora-Huayrapongo para los periodos de estiaje y lluvias”, “planteó como **objetivo** estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en el cauce del río Cajamarquino, tramo puente Llacanora-Huayrapongo para los periodos de estiaje y lluvia. Utilizó como **metodología** para determinar el coeficiente de rugosidad ecuaciones empíricas de Meyer-Peter y Muller, Raudkin, Garde y Raju, Manning, Limerinos, Griffiths, Phillip e Ingersoll, Jarret, Sauer y Rickenmann el aforo realizó 3 meses en épocas lluviosas y 3 meses en épocas de estiaje con un correntómetro que le permitió determinar la velocidad del cauce. Como **resultados** obtuvo valores mayores en estiaje que en épocas de lluvia, en época de estiaje presentó el valor promedio de 0.071 y en la época de lluvia un valor de 0.053. Finalmente concluyó determinando que la ecuación de Rickenmann y Jarrett se ajustan a las condiciones de la morfología, granulometría de los sedimentos y al régimen de flujo en el río Cajamarquino, tramo puente Llacanora – Huayrapongo”.

Burgos y Vásquez (2021), en el artículo de investigación “Correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca-Perú”, “fijaron como **objetivo** desarrollar ecuaciones numéricas fundamentales para determinar valores del coeficiente de rugosidad en ríos con características de cuencas de alta montaña. Establecieron una relación entre la velocidad del flujo, las propiedades geométricas de la sección transversal y el diámetro de las partículas sedimentarias, el cual fue no cohesivo. Para que logren esto, aplicaron una **metodología** de enfoque lógico inductivo incompleto. Los **resultados** fueron coeficientes teóricos una máxima pendiente de -2.336%, mínima de 0.701% y en promedio de -1.106%, además de una rugosidad máxima de 0.2953, mínimo de 0.0436 y en promedio de 0.1182, según la investigación los valores que obtuvieron están fuera del rango de valores para cauces naturales ya que los valores varían de 0.024 hasta 0.075. Finalmente **concluyeron** que los valores de altura de rugosidades varía de 0.19 a 0.05, por otra parte el diámetro representativo corresponde al 30% de la masa de la muestra con partículas de menor diámetro, plantearon una ecuación que les permitió establecer la relación de la altura de rugosidad y el diámetro representativo”.

Díaz et al.(2020),en su artículo de investigación titulado: "Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay-Carhuaz, Áncash, Perú", "propusieron como **objetivo** principal desarrollar un modelo para estimar el coeficiente de rugosidad en función de la granulometría en áreas no medidas en el río Santa. Para lograr esto, como **metodología** utilizaron varios métodos de cálculo del coeficiente de rugosidad, incluyendo la distribución de velocidades, la fórmula de Manning y el método de Cowan, los cuales requieren mediciones de caudal. Posteriormente, llevaron a cabo un análisis estadístico para relacionar los diámetros efectivos de la granulometría en cada punto de medición con los valores que obtuvieron mediante los tres métodos mencionados. Los **resultados** determinados oscilaron entre  $n_{\min}=0.024$ ,  $n_{\max}=0.069$  y  $n_{\text{promedio}}=0.042$ . Como **conclusión** demostraron que el modelo potencial está vinculado al diámetro correspondiente al 10% de la masa de la muestra, la cual está constituida por partículas de diámetro menor".

Chinchay (2020),en la tesis de grado, titulado "Comparación de métodos analíticos en el cálculo del coeficiente de rugosidad frente al de Manning, en la parte baja de cinco subcuencas del rio santa, entre Recuay y caraz,2019", "propuso como **objetivo** comparar el coeficiente de rugosidad obtenido a través de la ecuación de Manning con los resultados de los métodos analíticos .La **metodología** empleada de recopilación de datos de campo, midió parámetros geométricos en puntos de aforo en los 5 ríos; Olleros, Quilcay,Paltay,Ranrahirca, y rio Buin. Realizó mediciones de la velocidad media y tomó muestras del material del lecho de cada río. Los **resultados** que obtuvo incluyeron coeficientes de rugosidad calculados mediante la ecuación de Manning, el método de medición de la velocidad, la ecuación de rugosidad y el método de Cowan. Sin embargo, identificó algunos valores inexactos, como coeficientes de 0.1798, 0.13, 0.124 y 0.00215, los cuales descartó por estar fuera del rango, debido a parámetros geométricos e hidráulicos medidos durante estiaje. Como **conclusión**, estableció valores de rugosidad utilizando la ecuación de Manning en los cinco ríos con un promedio de 0. 0587.Por otro lado, mediante el método de Cowan obtuvo valores más apropiados, debido a las características específicas además identificó que la partícula con diámetro representativo pertenece al porcentaje de diámetro menor al 84% de la muestra".

Burgos (2017),en la tesis de grado titulado "Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, en el rio chonta, Cajamarca.2016". "Fijó como **objetivo** estimar el coeficiente de rugosidad a lo largo del rio chonta en la provincia de Cajamarca, distrito de Baños del Inca, tomando como muestra siete tramos. En esta investigación la **metodología** que empleó fue dos métodos; El de mediciones de la velocidad y medición de la rugosidad, realizó una relación de ambos para determinar expresiones para estimar la rugosidad considerando

principalmente al diámetro representativo del lecho del río Chonta, obtuvo como **resultados** tirantes como un máximo, mínimo y medio con valores de 78 cm, 8 cm ,y 35.58 cm correspondientemente y velocidades como valor máximo de 2.06 m/s , velocidad mínima 0.03 m/s y media de 0.45 m/además de la relación de velocidades máxima de 1.96,mínima de 1.07 y en promedio de 1.51,coeficiente de rugosidad máximo de 0.0642, mínimo 0.0021 y medio de 0.0301,el diámetro representativo en dicha investigación corresponde al diámetro 30 relativo al 30% de la masa que extrae como muestra correspondiente a partículas de diámetro inferior al porcentaje.Finalmente **concluyó** estimando las siguientes ecuaciones que permitirán obtener valores de rugosidad: $n = 0.0438k^{1/6}$  ,  $n = 0.2399k^2 - 0.0083k + 0.0276$ ”.

#### **4.1.2. Antecedentes internacionales**

Tacuri (2023),en la tesis de grado para optar el título profesional, titulado “Análisis del coeficiente de rugosidad en ríos de montaña mediante la aplicación de modelos hidráulico bidimensionales (2D)”. “Estableció como objetivo analizar la influencia del coeficiente de rugosidad al modelar ríos de montaña utilizando un modelo hidráulico bidimensional (2D). Se evaluó el rendimiento de diversas metodologías para predecir el coeficiente de n en tres áreas con variabilidad morfológica del río Quinuas. La metodología utilizada, que fue adimensional, mostró un mejor rendimiento en la predicción de los coeficientes de rugosidad. Como resultados obtuvo que las ecuaciones adimensionales son la que mejor desempeñan a diferencia de modelaciones hidrodinámicas en 2D. Finalmente **concluyó** determinando parámetros importantes para el modelo mencionando que las metodologías que mejor desempeño tuvo son metodologías adimensionales, potencial, semilogarítmica y metodología basada en fotografías”.

J. Fernández (2022), en el artículo de investigación titulado “Modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la altura del material del fondo del cauce río Achiguate-Guacalate” “Fijó como **objetivo** adquirir una expresión que permita calcular el coeficiente de rugosidad considerando valores del radio hidráulico y altura de rugosidad del lecho del fondo del río. Llevó a cabo utilizando la **metodología** basada en un modelo matemático, que incorporó la ecuación de Chezy y estableció una relación entre el radio hidráulico y el diámetro medio de las partículas del fondo. Como **resultado** obtuvo una ecuación cuyos resultados fueron consistentes con los obtenidos mediante modelos analíticos. En particular, encontró que el valor del coeficiente obtenido mediante este modelo es de 0.075, mientras que utilizando el enfoque de área-velocidad se obtuvo 0.074, y mediante el método de Manning tradicional se determinó el valor de 0.087.**Concluyó** que, al considerar los aforos realizados después de aplicar el modelo propuesto señaló una variación en el coeficiente de Manning, que osciló entre 0.124 y 0.162”.

Serrano(2021) ,en la tesis de grado, titulada "Creación del modelo hidráulico bidimensional calibrado mediante el análisis granulométrico para la determinación del coeficiente de rugosidad en dos trayectos de control ubicados en el rio ahogados y rio tempisquito de la cuenca del rio tempisque, para aplicaciones de hidrometría y simulación de hábitat", "fijó como **objetivo** desarrollar un modelo hidráulico bidimensional para el cauce del rio ahogados y del rio Tempisquito del rio Tempisque, usando el análisis morfológico del lecho de esa manera calcular valores de rugosidad, y posteriormente sean recursos para aplicar hidrometría. La **metodología** que empleó inició con el levantamiento topográfico y fotogramétrico además de la extracción de muestra del lecho del trayecto de los dos tramos en estudio, seguidamente elaboró un Modelo digital de elevación y utilizó el software Iber 2.6. Obtuvo **resultados** en el análisis granulométrico el promedio de tamaño de partículas fue de 190.74 mm, con un valor máximo de 1000 mm y mínimo de 10 mm. Estos datos, excluyendo las arenas, condujeron a la formulación de nuevas ecuaciones empíricas adaptadas para ambos tramos de control. **Concluyó** destaca que los dos ríos presentan lechos conformado por material grueso principalmente conformado por canto rodado y grava. Además, indico que las ecuaciones están influenciadas por las dimensiones de las partículas que componen el lecho".

Martinez y Solano (2020),en la tesis de grado, titulado "Determinación del coeficiente de rugosidad del rio Tomebamba mediante fórmulas empíricas". "Plantearon como objetivo calcular el coeficiente de rugosidad de Manning (n) para el río Tomebamba utilizando diferentes fórmulas empíricas, que incluyeron las de Meyer-Peter y Müller, Raudkin, Limerinos, Hec-Ras, Jarret, Garde y Raju. La **metodología** que emplearon en su investigación consistió en tomar datos de campo en 31 estaciones ubicadas en puentes, donde realizaron levantamientos topográficos y obtuvieron diversos perfiles. Luego, determinaron parámetros como área y perímetro mojado en diferentes secciones hallando el nivel máximo de crecida basándose en las cotas. Para calcular los diferentes diámetros característicos, tomaron fotografías durante una época de estiaje, posteriormente utilizaron las fórmulas empíricas para calcular valores de rugosidad. Meyer-Peter y Müller utilizaron el tamaño de las partículas, donde el 90% de partículas son diámetro menor( $d_{90}$ ), Raudkin empleó el 65% de partículas de diámetro menor( $d_{65}$ ), Limerinos utilizó el 84% de partículas de diámetro menor( $d_{84}$ ), y Garde y Raju se basaron en el 50% de partículas de diámetro menor( $d_{50}$ ). Los **resultados** obtenidos para las fórmulas de Meyer-Peter y Müller, Garden y Raju, Raud Kin y Hec Ras revelaron valores cercanos para el coeficiente de rugosidad como los siguientes: 0.033, 0.035, 0.032 y 0.031 respectivamente, Por otro lado, al aplicar las fórmulas de Limerinos y Jarret, que incorporan parámetros hidráulicos además del diámetro

característico, se observaron valores más elevados, alcanzando 0.061 y 0.091. **Concluyeron** que a medida que la altura disminuye los valores de rugosidad tiende a aumentar”.

Fernández et al. (2018), en el artículo de investigación titulado “Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales”, “Presentó como **objetivo** determinar valores de coeficiente de Manning”  $n$  mediante múltiples enfoques considerados en la literatura de valores de rugosidad. Este estudio lo realizó en una sección transversal del río Yanuncay en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Para estimar el coeficiente, Fernández empleó como **metodología** el método de Cowan, lo que arrojó un coeficiente de 0.043. Por otro lado, utilizó el método de medición de la velocidad, midiendo la velocidad del río a profundidades al 0.2 y 0.8 de la altura del agua. Los **resultados** que obtuvieron fueron velocidades en un rango de 0.025 a 7.6 m/s, y el coeficiente de Manning promedio fue de 0.040. Asimismo, aplicó fórmulas empíricas de Jarret, que proporcionaron una pendiente de la rasante friccional de 0.02 m/l, al calcular el radio hidráulico, el área y perímetro mojado con una altura de flujo de 0.80 m y obtuvo un coeficiente de 0.111. Para los métodos basados en fórmulas de, Muller, Limerinos, Hec-ras, Meyer-Peter fue necesario medir el tamaño de las piedras, lo que resultó un coeficiente de 0.036. Con el uso de Limerinos y Hec-ras y la aplicación del radio hidráulico, dieron un valor de igual a 0.102 a 0.8 m. Por último, mediante el método basado en fotografías, obtuvieron coeficientes entre 0.051 y 0.073. Finalmente **concluyeron** destacando que existen múltiples elementos que influyen en la determinación de coeficientes de rugosidad y que tienen un impacto directo deduciéndose que el método de medición de velocidades es aquel que brinda valores más reales”.

## **4.2. Bases teóricas**

### **4.2.1. Cuenca**

Una cuenca es aquella área delimitada por la topografía de la tierra donde las aguas superficiales y subterráneas fluyen hacia un río y sus afluentes. Esta área está definida por montañas, colinas y otras características del relieve que dirigen el flujo de agua hacia un punto. (Nava y Cortes, 2010, p. 45)

#### **4.2.1.1. Partes de la cuenca hidrográfica**

Juárez (2016, p. 4), “Da a conocer que las partes de una cuenca hidrográfica están clasificadas por elevación de la siguiente manera: Región alta, media y baja. La parte baja se caracteriza por la presencia de abundante material grueso y rocoso. La región media es caracterizada por la amplitud del cauce, tiende a ser mayor que en la región alta, sin embargo,

depende de la distribución del cauce. El lecho de fondo en la parte baja presenta sedimentos más finos susceptibles a ser transportados con mayor facilidad”.

#### **4.2.2. Río**

Un río se caracteriza por ser una masa de agua corriente que nace en una fuente, fluye por un cauce natural y mantiene un caudal suficiente durante la mayor parte del año. Debido a factores geológicos e hidrológicos, el caudal no siempre es continuo. (V. Hernández y Nélica, 2018, p. 4)

#### **4.2.3. Morfología fluvial**

Se centra en comprender cómo se comportan los ríos en relación con la topografía estudiando las distintas configuraciones de los ríos y los cambios que se producen en sus secciones longitudinales y transversales. Así, las configuraciones que los ríos adoptan en zonas planas difieren de las que toman en áreas con pendientes pronunciadas. Además, el comportamiento fluvial también está influenciado por las condiciones geológicas del entorno. Por ejemplo, los estratos cuaternarios o terciarios juegan un papel importante en las transformaciones de las formas fluviales. (Guívar, 2023, p.26)

#### **4.2.4. Elementos geométricos de una sección de un canal**

La geometría de una sección de canal y la profundidad del flujo determinan sus componentes geométricos. Se trata de características esenciales que se emplean con frecuencia en los cálculos de flujo.

A continuación se definen los elementos geométricos fundamentales. (Rosales, 2019, p.10)

- Profundidad de flujo (**y**): Distancia vertical entre la superficie libre y el punto más bajo de una sección de canal.
- Ancho superficial (**T**): se denomina a la anchura de la sección del canal en la superficie libre.
- Área mojada (**A**): La región de la sección transversal del flujo que es perpendicular a la dirección del flujo.
- Perímetro mojado (**P**): Es la longitud de la línea de contacto entre el agua y la superficie del canal (incluyendo el lecho y las paredes) en una sección

transversal. Es una medida clave en hidráulica, ya que se utiliza para calcular el flujo y la resistencia al flujo en canales y ríos.

- Radio hidráulico (**R**): Es la relación entre el área mojada y su perímetro mojado.

$$R = \frac{A}{P} \quad ( 1 )$$

- Nivel: La altura vertical o distancia entre un punto de referencia y la superficie del agua se conoce como nivel. El nivel y la profundidad del flujo son iguales si se utiliza como referencia el punto más bajo del canal.
- Profundidad hidráulica: Es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie denominado de la siguiente manera:

$$R = \frac{A}{T} \quad ( 2 )$$

#### **4.2.5. Pendiente del cauce**

La pendiente del curso de un río cambia a medida que se desplaza desde su curso superior de origen hasta su desembocadura. Las corrientes de flujo de alta velocidad suelen producirse en las pendientes más pronunciadas, que suelen estar situadas en los tramos más altos. (Guívar, 2023, p. 10)

#### **4.2.6. Flujo uniforme**

La profundidad, el área A, la velocidad media V y el caudal Q son constantes en un canal con flujo uniforme. Como el fondo del canal, la superficie libre y la línea de energía son paralelas, sus pendientes son iguales. (Poletto et al., 2023, p. 154)

En la realidad, resulta muy complicado encontrar un flujo que sea completamente uniforme. No obstante, en muchos casos, el flujo en canales y ríos se considera uniforme desde el punto de vista del ingeniero. (Rosales, 2019, p.8)

#### **4.2.7. Cálculo de flujo uniforme**

El caudal en un flujo uniforme se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = V \cdot A \quad ( 3 )$$

Donde:

$Q$  : Es el caudal de agua

$V$  : Es la velocidad media de agua en la sección

$A$  : Área de la sección transversal

#### **4.2.8. Desarrollo del flujo uniforme mediante ecuaciones**

(Chow, 2004, p. 89) señala que: La llamada ecuación de flujo uniforme se utiliza a menudo para estimar la velocidad media de un flujo uniforme y turbulento en canales abiertos para cálculos hidráulicos. Esta velocidad media puede representarse generalmente mediante la siguiente fórmula.

$$V = CR^xS^y$$

Donde:

$V$  : Velocidad media

$R$  : Radio hidráulico

$S$  : Pendiente de curso

$x, y$  : Son exponentes

$C$  : Resistencia al flujo

Al emplear la llamada ecuación de flujo uniforme se utiliza a menudo para estimar la velocidad media de un flujo uniforme y turbulento en canales abiertos para cálculos hidráulicos. Esta velocidad media puede representarse generalmente mediante la siguiente fórmula.

Ecuación de Chezy:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (4)$$

Además, menciona que para conductos rugoso:

$$C = 18 \log \frac{12.2R}{k} \quad (5)$$

— Ecuación de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (6)$$

Donde:

$n$  : Es el coeficiente de rugosidad

Al comparar ambas ecuaciones ( 4 ) y ( 6 ) se tiene la siguiente expresión:

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \quad ( 7 )$$

Además (Rocha, 2007) presenta esta ecuación para conductos con rugosidad.

$$C = 18 \log \frac{12.2R}{k} \quad ( 8 )$$

C: Coeficiente de Chezy.

- Sus dimensiones son  $L^{1/2}T^{-1}$
- Sus unidades son  $m^{1/2}/s$  correspondiente a  $\sqrt{g}$

#### **4.2.9. Interpretación teórica del coeficiente de rugosidad de Manning**

Relacionando el valor teórico de la rugosidad del canal en superficies rugosas con el coeficiente  $n$  de Manning. Chow (1994) indica que:

Eliminando el valor  $C$  de Chezy de las ecuaciones ( 7 ) y ( 8 ), el  $n$  de Manning se puede expresar de la siguiente manera:

$$n = \emptyset \left( \frac{R}{k} \right) k^{1/6} \quad ( 9 )$$

Donde:

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

De las ecuaciones 6 y 7 se deduce que el valor  $k$  está dado por:

$$k = \frac{12.2R}{10^{\left( \frac{R^{\frac{1}{6}}}{18n} \right)}} \quad ( 11 )$$

$k$  se denota la altura efectiva de los elementos de rugosidad, formada por las imperfecciones. Se considera que la rugosidad, representada por  $n$ , se encuentra a una

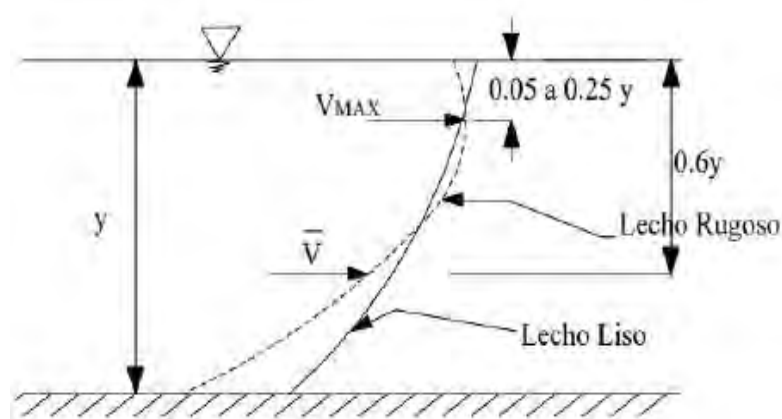
distancia de  $0,5k$  por debajo del fondo medio del canal, determinado por  $k$  medido desde un plano de referencia horizontal.

En los canales y cursos de agua naturales, el agua fluye de forma claramente tridimensional en cada punto de la corriente. En otras palabras, cada una de las tres direcciones tiene una componente del vector velocidad. Analizamos el escenario más sencillo, suponiendo una anchura ilimitada y que el flujo se ve influido simplemente por el fondo del canal. Por tanto, el flujo se examina del siguiente modo: El flujo es bidimensional, con una velocidad específica  $V_h$  en cada punto de la sección. En la superficie, la velocidad es mayor, y en el fondo, menor. (Rocha 2007)

La distribución típica de velocidades en la sección transversal de un río natural se vuelve más compleja cuando consideramos factores adicionales que afectan a la distribución de velocidades, como la fricción entre el agua y el aire, la forma del fondo y las pendientes de la sección transversal, así como la rugosidad de la superficie. La distribución más básica podría asemejarse a la presentada en la **Figura 1**.

**Figura 1**

*Distribución típica de velocidad en una corriente natural que más se asemeja a la realidad*



Fuente: Rosales( 2019,p.15)

Es fundamental señalar que la velocidad máxima del agua no se encuentra en la superficie libre, sino a una cierta profundidad, que varía entre  $0.05$  y  $0.25$  del tirante. Por otro lado, la velocidad mínima se localiza cerca del fondo y de los taludes del cauce. La velocidad media se ubica aproximadamente a una profundidad equivalente a  $0.6$  del tirante y se calcula como el promedio de las velocidades medidas a  $0.2$  y  $0.8$  del tirante, o entre  $0.8$  y  $0.95$  de la velocidad en la superficie. Estas diferencias en la posición de las velocidades máxima y media son consecuencia de las condiciones específicas de la sección transversal.

#### **4.2.10. Medición de velocidad y determinación de caudal en canales naturales**

Rosales (2019, p. 16) señala que la velocidad del agua en una sección se puede medir con diferentes equipos, tales como molinetes y micromolinetes, así como dispositivos computarizados avanzados como el Flowtracker, y también con trazadores líquidos o sólidos y flotadores.

La sección transversal se divide en franjas verticales sucesivas en la técnica de aforo de arroyos para calcular la velocidad. Para obtener resultados más precisos, las velocidades en estas verticales pueden estimarse promediando las velocidades a 0,2 y 0,8 de la profundidad, o midiendo a 0,6 veces la profundidad en cada vertical. El caudal de esa franja transversal puede calcularse multiplicando el área entre las velocidades medias de dos verticales contiguas por su media. El caudal total es igual a la suma de los caudales de cada franja. Por consiguiente, dividiendo el caudal total por el área total se obtiene la velocidad media de todo el segmento. La velocidad en una vertical puede medirse de diversas maneras:

- a) Velocidad media en un punto:

$$V_{media} = V_{0.6} \quad (12)$$

- b) Velocidad media en dos puntos:

$$V_{media} = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \quad (13)$$

- c) Velocidad media en tres puntos

$$V_{media} = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3} \quad (14)$$

Dónde:

$V_{0.2}$  = Velocidad medida a 0.2 de la profundidad, con respecto a la superficie.

$V_{0.6}$  = Velocidad medida a 0.6 de la profundidad, con respecto a la superficie.

$V_{0.8}$  = Velocidad medida a 0.8 de la profundidad, con respecto a la superficie.

Para determinar las franjas verticales en el “Manual de Hidrometría-SENAMHI menciona el criterio establecido en la Norma ISO 748 Measurements of liquid flow in open channels Velocity-Área methods”

**Tabla 2**

Tabla que muestra la relación entre el número de verticales necesarias para evaluar la velocidad y la anchura superficial del río.

Ancho de cauce B(m)	Numero de Verticales (n)
0<B<0.5 m	n =3 a 4
0.5m<B<1.0 m	n =4 a 5
1.0 m < B <3.0 m	n =5 a 8
3.0 m < B < 5.0 m	n =8 a 10
5.0 m < B<10.0 m	n =10 a 20
10.0 m < B	n ≥20

Fuente: (SENAMHI, 2018, p. 29)

Para medir con el correntómetro, se pueden emplear distintos métodos para calcular la velocidad media. La selección del criterio dependerá del tiempo disponible para realizar la medición, del ancho de la sección y de la profundidad del agua.

**Tabla 3**

Número de mediciones de velocidad requeridas según la profundidad del curso de agua

Numero de mediciones	Profundidad del curso de agua en cm (D)	Puntos de observación (medidos donde la superficie se encuentra libre)	Velocidad media (Vm)
1	30-50	0.6 D	$V_m = V_{0.6}$
2	50-300	0.2 Y 0.8 D	$V_m = 0.5(V_{0.2} + V_{0.8})$
3	300-600	0.2, 0.6 Y 0.8 D	$V_m = 0.25(V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$
4	>600	30 cm 0.2, 0.6, 0.8 D y 30 cm sobre el fondo	$V_m = 0.1(V_{\text{superf.}} + 3V_{0.2} + 2V_{0.6} + 3V_{0.8} + V_f)$

Fuente: (SENAMHI, 2018, p. 31)

De acuerdo con los criterios del SENAMHI, el método de un solo punto se utiliza cuando la profundidad vertical es de 70 cm o menos

#### **4.2.11. Molinete o Correntómetro digital**

Desde la superficie hasta el fondo de una corriente, miden las velocidades en lugares precisos a lo largo de una vertical, y la velocidad media a lo largo de esa vertical se calcula utilizando estas lecturas. (García Olmos, 2019, p. 130)

**Figura 2***Molinete Digital FP.101*

Fuente: Garcia Olmos ( 2019, p. 131)

#### **4.2.11.1. Aforo con correntómetro**

El aforo con molinete digital se fundamenta en la toma de medidas necesarias para aplicar la ecuación de continuidad, lo que implica obtener la velocidad media de la corriente y su sección transversal.

Procedimiento:

1. Se elige una parte de un río que no esté ubicada en una curva y que cumpla ciertos criterios, los cuales se detallarán al tratar el tema del “Establecimiento de una estación de aforos”

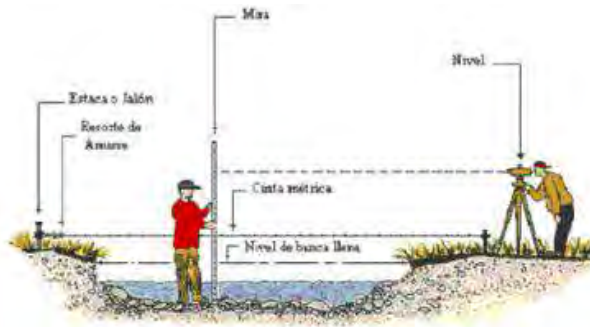
El lugar elegido para hacer el aforo o medición debe cumplir los siguientes requisitos:

- El caudal en la sección del cauce debe ser constante. La forma más fácil de mantener esta condición en los ríos es vigilar y mantenerse alejado de los momentos en que las precipitaciones, el deshielo de la nieve u otros fenómenos comparables crean crecidas.
- En la sección del cauce analizado, es necesario que el **flujo sea uniforme**. Sin embargo, la uniformidad del flujo idealmente requiere un tramo de cauce prismático, donde la sección transversal, la pendiente longitudinal y la rugosidad sean uniformes a lo largo del espacio. En lechos granulares, debido a que las partículas no tienen la misma forma ni están distribuidas de manera uniforme, no es posible hablar en términos absolutos o estrictos de un cauce prismático. La rugosidad varía localmente en este tipo de lechos.

- La alineación de los tramos que deben registrarse **debe ser recta o no sinuosa**. Esta condición es crucial para reducir las pérdidas de energía provocadas por ciertas variaciones en la dirección del flujo en las curvas del canal.
  - Las secciones analizadas deben estar **libres de obstáculos**, ya sean artificiales (como pilares de puentes u otras estructuras) o naturales (como grandes rocas provenientes de caídas o deslizamientos de ladera). La presencia de estos obstáculos puede causar una significativa pérdida de energía localizada.
  - Las secciones de los ríos **no deben estar canalizados**, con el objetivo de evitar influencias artificiales en su curso natural. Cualquier modificación en el tramo que altere su estado natural, introduciendo un patrón geomorfológico artificial, debe ser evitada.
  - Las secciones de cauce sujetos a mediciones deben estar **libres de vegetación**. Esta medida garantiza que la resistencia al flujo debida a la vegetación no influya de manera significativa en las mediciones realizadas.
  - Un canal formado principalmente por piedras y grava debe tener un diámetro de al menos 2 mm, lo que se conoce como el diámetro en el que el 50% de las partículas del lecho del río son más pequeñas.
  - El flujo debe ser turbulento y con rugosidad hidráulica: en la práctica, el flujo casi siempre presenta estas características.
  - Los datos deben referirse a circunstancias en las que los márgenes del canal no afecten sustancialmente al flujo. Para cumplir este requisito, la relación entre la anchura de la superficie del agua y la profundidad media de la sección ( $T/y$ ) debe ser superior a 0,5. Esto suele cumplirse ya que las características geomorfológicas normales de los cauces naturales permiten esta relación. Esto suele cumplirse, ya que las características geomorfológicas normales de los cauces naturales permiten esta relación.
  - Los datos deben restringirse a escenarios donde el flujo presente una baja cantidad de sedimentos transportados. Esto se debe a que altas concentraciones de sedimentos pueden alterar significativamente las propiedades del fluido y del flujo.
2. Se coloca una cinta métrica a lo largo de ambas orillas de la sección transversal seleccionada, asegurándola de manera que quede perpendicular al flujo del agua.

**Figura 3**

Selección de la sección transversal para aforos

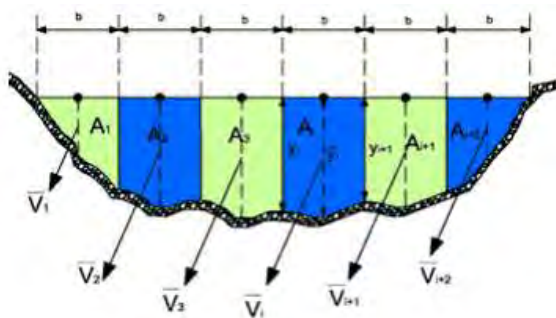


Fuente: INGENIERIA CIVIL: Método del flotador (ingenierocivilinfo.com)

3. Se establece un punto de referencia (PR) desde el cual se miden las distancias hacia dicho PR, además de registrar las profundidades del flujo y las velocidades medias en las verticales previamente seleccionadas.

**Figura 4**

Sección transversal en el punto de aforo



Fuente: (Rosales, 2019, p. 17)

$b$ : Anchos

$y_i$ =Profundidades

$A_i$ =Sub-áreas

$V_i$ =Velocidades medias

Cálculos:

- Para obtener las superficies parciales ( $SP_i$ ) se determinan las profundidades medias (PM) entre cada par de verticales consecutivas mientras que los anchos parciales se obtuvieron restando los puntos de referencia (PR) correspondientes.
- Se calcula la media de las velocidades (VMV) entre verticales sucesivas para determinar las velocidades medias de cada una de las superficies parciales.

- Cada superficie parcial tiene su flujo determinado mediante el uso de la ecuación de continuidad.:

$$q_i = (SP_i)(VM_i) \quad (15)$$

- El caudal total es:

$$Q = \sum_1^n q_i \quad (16)$$

#### **4.2.12. Coeficiente de Rugosidad**

Martinez y Solano (2020, p. 46), mencionan que se denomina como “n” al coeficiente de rugosidad siendo un parámetro que determina la facilidad o dificultad el desplazamiento del agua.

El tamaño y la disposición de los granos que componen la periferia mojada provocan la rugosidad. Generalmente los granos más finos se traducen en un coeficiente de rugosidad bajo mientras que los granos gruesos contribuyen un valor más elevado.

##### **4.2.12.1. Factores que afectan a la rugosidad**

La rugosidad en los cauces experimenta la influencia de diversos elementos tales como la textura superficial, presencia de vegetación, irregularidades en la forma y alineación del canal, también proceso de sedimentación y socavación además los materiales que involucran el lecho de fondo.

#### **4.2.13. Métodos de cálculo del coeficiente de Manning” n”**

C. Fernández et al.( 2018, p. 20), señala que existen varios métodos para calcular el coeficiente, los cuales consideran varios parámetros que intervienen a los valores de rugosidad. La rugosidad puede calcularse mediante diversas fórmulas; algunas se basan en tablas preestablecidas, mientras que otras se basan en medir la velocidad del agua y utilizar esa información para crear cálculos empíricos.

Seguidamente se detalla principales métodos para el cálculo del valor de coeficiente de rugosidad.

##### **4.2.13.1. Método de Cowan**

Para estimar el valor de  $n$ , se desarrolló un procedimiento que considera algunos parámetros del cauce, aplicando la formula:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (17)$$

Los valores se extraen de una tabla basada en los siguientes factores: vegetación, impacto de los impedimentos, variación de la sección transversal, irregularidades y curvatura/meandros del plano (Moreira S., Velez D., 2024, p. 7) .

Donde:

$n_0$ : Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

$n_1$ : Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

$n_2$ : Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

$n_3$ : Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

$n_4$ : Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

$m_5$ : Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

**Tabla 4**

*Tabla de Cowan, que permite evaluar el impacto de varios factores en el coeficiente "n"*

Condiciones del cauce		Valores	
Material involucrado	Tierra	$n_0$	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variación de la sección transversal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Insignificante	$n_3$	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
Vegetación	Severo	$n_4$	0.040-0.060
	Bajo		0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
Intensidad de Meandros	Muy alta	$m_5$	0.050-0.100
	Menor		1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente:(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, p. 96).

#### 4.2.13.2. Método de la Medición de Velocidad

Este método es adecuado para flujos que son turbulentos y poseen una rugosidad hidráulica. Facilita la obtención del coeficiente de resistencia al medir la velocidad en varias profundidades, utilizando la siguiente ecuación.

$$V = 5.75 v_f * \log \frac{30y}{k} \quad ( 18 )$$

Se observa que la altura de la rugosidad afecta a la dispersión de la velocidad. Teniendo en cuenta  $V_{0.2}$  como la velocidad en un canal ancho y rugoso a una distancia de 0,2y, o dos décimas de la profundidad, donde “y” denota la profundidad del flujo. La siguiente ecuación puede utilizarse para expresar la relación de  $V_{0.2}$ .

$$V_{0.2} = 5.75 v_f * \log \frac{24y}{k} \quad ( 19 )$$

De igual modo,  $V_{0.8}$  puede determinarse mediante la ecuación:

$$V_{0.8} = 5.75 v_f * \log \frac{6y}{k} \quad ( 20 )$$

Se elimina  $V_f$  en las dos ecuaciones anteriores, surge la siguiente expresión:

$$\log \frac{y}{k} = \frac{0.778 x - 1.831}{1 - x} \quad ( 21 )$$

Donde  $x = V_{0.2}/V_{0.8}$ . Al sustituir la ecuación( 21 ) en la siguiente ecuación:

$$V = V_f \log (6.25 + 5.75 \log \frac{R}{k}) \quad ( 22 )$$

Con  $R=y$ , y simplificado

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1.78(x + 0.95)}{x - 1} \quad ( 23 )$$

A partir del valor del coeficiente de Chezy y la ecuación:

$$\frac{V}{V_f} = \frac{C}{\sqrt{g}} \quad ( 24 )$$

Con  $R=y$ , se tiene:

$$\frac{V}{V_f} = \frac{y^{1/6}}{3,13n} \quad ( 25 )$$

Al igualar la parte derecha de las ecuaciones ( 23 ) y ( 25 ) , Al despejar, obtenemos la fórmula que nos permite calcular el valor del coeficiente de rugosidad en función de la relación de velocidades.

$$n = \frac{(x - 1)^{1/6}}{5.57(x + 0.95)} \quad ( 26 )$$

El valor “n” para canales anchos y rugosos con una distribución de velocidades viene dado por ecuación( 26 ) La profundidad en metros de la sección considerada está representada por el valor de “y”.

#### **4.2.13.3. Método de la ecuación de Manning.**

Se puede calcular utilizando la ecuación de Manning, la cual requiere el conocimiento de todos los parámetros involucrados: el caudal Q, el área A, la velocidad media  $V_m$ , el radio hidráulico R, y la pendiente media S. Una vez que se han determinado todos estos factores mediante extracción de datos en el punto de interés, se puede resolver la ecuación de Manning para obtener el valor de “n” de la siguiente manera:

$$n = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{Q} \quad ( 27 )$$

#### **4.2.13.4. Fórmulas teóricas**

En la literatura se pueden encontrar numerosas fórmulas empíricas para determinar el coeficiente de rugosidad que tienen en cuenta el diámetro del material del cauce. Cada autor emplea un diámetro variable, como d90, d84, d65, d50, lo que puede resultar en variaciones en los resultados.(C. Fernández et al., 2018, p. 5)

- Meyer-Peter y Müller (1948): Esta expresión es utilizada en el caso de materiales no cohesivos compuestos principalmente por partículas de gran tamaño.

$$n = 0.038d_{90}^{\frac{1}{6}} \quad ( 28 )$$

$d_{90}$ : Es el diámetro del material en el lecho, donde el 90% del peso está formado por partículas más pequeñas.

- Limerinos (1970):

$$n = \frac{0.1129 * R^{\frac{1}{6}}}{1.16 + 2\text{Log}(R/d_{84})} \quad ( 29 )$$

El radio hidráulico, denotado como R, tiene un rango de  $0,33 \leq R \leq 1,83$  m, mientras que el diámetro de la muestra, denotado como  $d_{84}$ , varía de 1,5 mm a 250 mm y corresponde al 84% de las partículas.

- Raudkin (1976) para arena:

$$n = 0.042d_0^{\frac{1}{6}} \quad ( 30 )$$

$d_0$  es la magnitud del diámetro correspondiente a las partículas de arena.

$$n = 0.013d_{65}^{\frac{1}{6}} \quad ( 31 )$$

$d_{65}$ : Se trata del diámetro del material en el lecho donde el 65% del peso total del material es de magnitud inferior.

- Simons y Senturk,1976

$$n = 0.0389 d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad ( 32 )$$

$d_{50}$ : Representa el diámetro del material presente en el lecho, donde el 50% en peso es de menor magnitud.

- Bray,1979

$$n = 0.0593d_{50}^{0.179} \quad ( 33 )$$

$d_{50}$ : Representa el diámetro del material presente en el lecho, donde el 50% en peso es de menor magnitud.(Gutierrez, 2009,p.28)

- Griffiths,1981

Utilizando información de 35 ríos de montaña y 84 estaciones de muestreo, se ha desarrollado y ajustado esta ecuación. La cual es

aplicable cuando la relación entre el radio hidráulico y  $d_{50}$  se encuentra entre 1 y 200, y cuando  $d_{50}$  varía entre 13 mm y 301 mm.

$$n = \frac{0.113 * R^{1/6}}{1.16 + 2 * \text{Log}\left(\frac{R}{d_{50}}\right)} \quad ( 34 )$$

$d_{50}$ : Representa el diámetro del material presente en el lecho, donde el 50% en peso es de menor magnitud.

– Jarret,1990

Para crear esta ecuación, se realizaron 75 mediciones de parámetros hidráulicos en 21 ríos de montaña de lecho rocoso. La ecuación relaciona el radio hidráulico y los valores de  $n$  de los cauces con pendientes pronunciadas. Puede utilizarse en cauces naturales con radios hidráulicos de entre 0,15 y 2,13 metros y pendientes de entre el 0,2% y el 4%.

$$n = 0.32 * S^{0.38} * R^{-0.16} \quad ( 35 )$$

S=pendiente del cauce (m/m)

R=radio hidráulico (m)

– Sauer (1990)

La textura del lecho del río está estrechamente asociada con la pendiente y los parámetros hidráulicos, y se ajusta a una ecuación que se parece a la introducida por Jarrett (1990). Esta ecuación es pertinente para los canales con pendientes que oscilan entre el 0,03% y el 1,8% y radios hidráulicos que no superan los 5,79 m; además, aclara la influencia de la rugosidad no solo del lecho, sino que también de elementos adicionales, como las irregularidades de la sección y fluctuaciones de la forma y tamaño.

$$n = 0.11 * S^{0.18} * \left(\frac{R}{0.3048}\right)^{0.08} \quad ( 36 )$$

S=pendiente del cauce (m/m)

R=radio hidráulico (m)

#### 4.2.13.5. Tablas de coeficiente de rugosidad

En la Tabla 5 se presenta un conjunto de valores de coeficiente de rugosidad para diversos tipos de canales, los valores resaltados en negrita son aquellos que se sugieren.

**Tabla 5**

*Valores del coeficiente de rugosidad "n"*

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes Naturales			
D1-Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 PIES)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.03	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.03	0.035	0.04
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.05
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.04	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.05	0.06
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.1	0.15
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, usualmente empinadas, árboles y matorrales a los largos de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: Gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.03	0.04	0.05
2. Fondo: Cantos rodados con rocas grandes	0.04	0.05	0.07

Fuente: Chow(2004, p. 107).

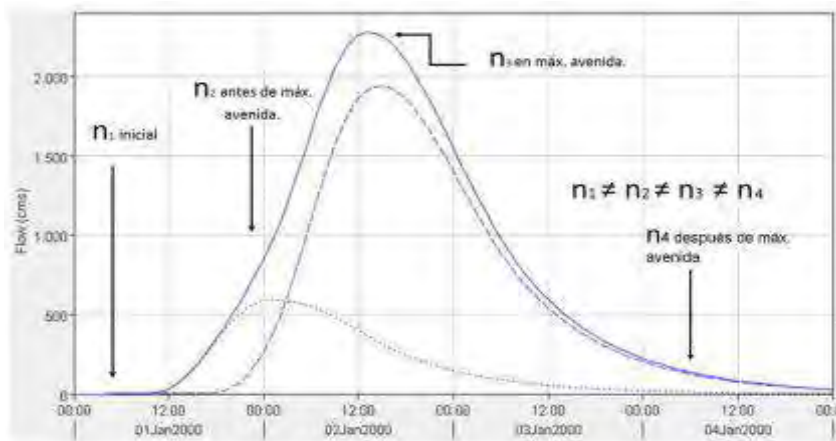
#### 4.2.14. Coeficiente de rugosidad en máximas avenidas

Cuando las precipitaciones son escasas, la disposición geométrica de los canales fluviales y los sedimentos es menos variable, lo que significa que el coeficiente de rugosidad depende sobre todo del caudal, es decir, cuanto mayor es el caudal, menor es el coeficiente de resistencia. Además, durante una crecida máxima, la rugosidad de un cauce natural varía mucho desde el principio, aguas arriba, en la cresta y aguas abajo. Debido a las fuertes corrientes y a los niveles de agua iniciales durante una crecida máxima, el lecho del río, las

orillas y la vegetación se erosionan. Como resultado, la rugosidad de Manning disminuye debido a la reducción de la resistencia al flujo del agua. (Guívar, 2023, p. 27).

**Figura 5**

*Variación de la rugosidad de Manning durante una avenida*



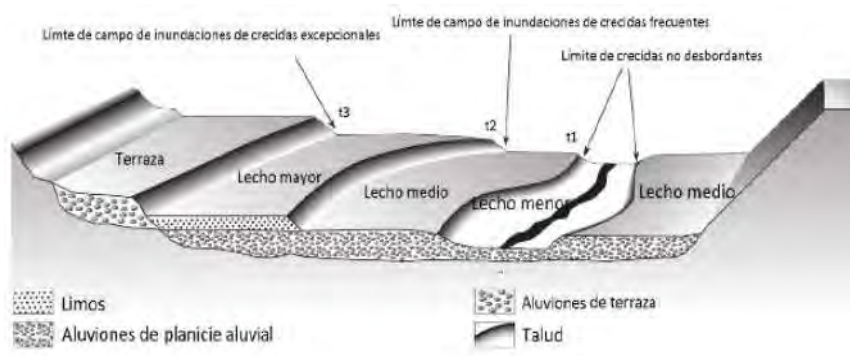
Fuente: (Guívar, 2023)

#### **4.2.15. Lecho de río**

El lecho del río se encuentra comúnmente en la parte inferior, donde fluye una corriente de agua impulsada por la gravedad. Según el caudal, se clasifica en lecho de estiaje, lecho menor, medio y mayor. (Hernández y Nélide, 2018, p. 7)

**Figura 6**

*Conexiones topográficas entre diversos lechos en la llanura aluvial funcional.*



Fuente: V. Hernández y Nélide (2018, p. 7).

##### **4.2.15.1. Muestreo y caracterización del material del lecho**

De acuerdo a la norma del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018) el muestreo se define como el proceso de identificar un tamaño representativo que abarque toda la gama de tamaños presente en la zona de estudio.

El proceso de muestreo del lecho del cauce debe ser representativo con el fin de calcular tanto la gravedad específica como llevar a cabo el análisis granulométrico.

Deben utilizarse al menos cuatro lugares para el muestreo de material; también deben tomarse muestras a una profundidad igual a 1,5 veces la profundidad media del río y a una profundidad intermedia.

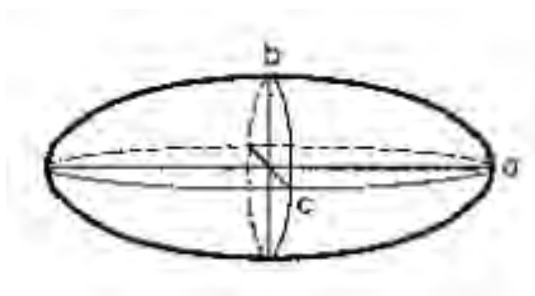
#### **4.2.16. Granulometría del lecho del río**

Guívar (2023, p. 14), menciona que los lechos de los ríos consisten en materiales cohesivos o granulares ya que estos están constituidos por partículas sueltas de distintos diámetros.

El lecho fluvial se compone de partículas sueltas de diversos tamaños. En los ríos aluviales, cuyo transporte de material es realizado por la corriente misma, el lecho suele ser granular. Aunque un río puede presentar un lecho conformado por rocas o materiales cohesivos, esto no implica que su forma sea fija; sin embargo, las modificaciones en el cauce serán más lentas debido a la mayor resistencia a la erosión. (Martín, 2003, p. 55)

#### **Figura 7**

*Líneas imaginarias de una partícula*



Fuente: Martín (2003, p. 56)

##### **4.2.16.1. Técnica de muestreo del sedimento**

Se recomienda realizar el muestreo de sedimentos a lo largo de todo el tramo de estudio del río, ajustando el número de muestras en función de la uniformidad del lecho. Tanto las orillas como el fondo de los ríos son lugares adecuados para recoger muestras. A la hora de determinar el coeficiente de resistencia hidráulica en un tramo concreto, los especialistas aconsejan tomar muestras de los materiales superficiales del cauce. Sin embargo, las crecidas de los ríos de montaña erosionan con frecuencia la capa superficial del cauce, por lo que es necesario tomar también muestras volumétricas de los sedimentos de la zona subsuperficial del cauce. (Guzmán et al., 2021, p. 2)

El método más minucioso es el muestreo volumétrico, que incluye la extracción de una cierta cantidad de material subsuperficial del lecho del arroyo. Para ello, debe extraerse la capa superior hasta una profundidad igual a la partícula más grande visible en la superficie. Siguiendo el requisito de que la mayor partícula extraída no supere el 1% del peso de la muestra, o para mayor precisión, el 0,1%, el volumen extraído debe ser indicativo del material granular del cauce. Por ejemplo, estos criterios sugieren que deben extraerse entre 100 y 1000 kg de material si se tiene un  $D_{max} = 10$  cm.

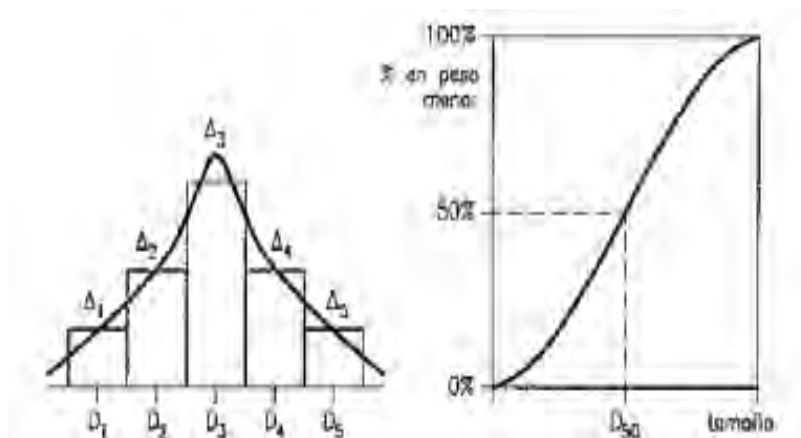
#### 4.2.16.2. Curva granulométrica del sedimento

La forma más fácil de poder realizar la clasificación del tamaño de las partículas en un río se realiza a través del proceso de tamizado. (Burgos, 2017, p. 17)

Una vez tamizada la muestra, se anota el peso de la cantidad que queda en el tamiz siguiente tras pasar por cada tamiz. Para ilustrar estos componentes se utiliza un histograma, que es una presentación discreta con clases de tamaño de una función de densidad de probabilidad asociada a los tamaños.

**Figura 8**

*Variabilidad discreta o continua en las dimensiones (izquierda) y representación acumulada de la curva granulométrica continua (derecha).*



Fuente: Martín (2003, p. 55).

Se denomina curva granulométrica en esta última forma gráfica (Figura 8), y la terminología utilizada para indicar un tamaño. El símbolo  $D_n$  significa que el  $n\%$  del peso del material es inferior al tamaño designado. Por ejemplo,  $D_{10}$  indica la proporción fina del material, mientras que  $D_{90}$  indica la fracción gruesa. Por tamaños, las partículas se clasifican de la siguiente manera: menos de 0,004 mm se denominan arcillas, de 2 mm a 64 mm se denominan gravas, a partir de 25,6 cm se denominan guijarros o cantos rodados, y a partir de este tamaño se denominan cantos rodados o bloques.

**Tabla 6***Clasificación del American Geophysical Unión para sedimentarios*

Grupo	Clase	Tamaño
Cantos	Muy grandes	2000 a 4000
	Grandes	1000 a 200
	Medianos	500 a 1000
	Pequeños	250 a 500
Guijarros	Grandes	130 a 250
	Pequeñas	64 a 130
Gravas	Muy gruesa	32 a 64
	Gruesa	16 a 32
	Mediana	8 a 16
	Fina	4 a 8
	Muy Fina	2 a 4
Arenas	Muy gruesa	1 a 2
	Gruesa	0.5 a 1
	Mediana	0.25 a 0.5
	Fina	0.125 a 0.25
	Muy Fina	0.062 a 0.125
Limos	Gruesa	0.031 a 0.062
	Mediano	0.016 a 0.031
	Fino	0.008 a 0.016
	Muy fino	0.004 a 0.008
Arcillas	Gruesa	0.002 a 0.004
	Mediana	0.001 a 0.002
	Fina	0.0005 a 0.001
	Muy fina	0.00024 a 0.0005

Fuente: Guívar(2023, p. 37).

**4.2.16.3. Diámetros efectivos**

Cualquier diámetro  $D_n$  de la muestra de suelo que sea inferior o igual a un tamaño determinado puede identificarse una vez adquirida la curva granulométrica. Por ejemplo, si  $D_{75} = 0,524$  mm, significa que las partículas menores o iguales a 0,524 mm constituyen el 75% del peso del sedimento.(Quintero et al., 2022, p. 4)

El  $D_{10}$  y el  $D_{60}$  son utilizados para calcular el coeficiente de uniformidad, que ayuda a determinar el tipo de granulometría. El  $D_{50}$  representa el diámetro mediano de la distribución granulométrica, y cuando la distribución es simétrica, el  $D_{50}$  coincide con el diámetro medio  $D_m$ . Además, los valores  $D_{16}$ ,  $D_{84}$  y  $D_{50}$  son fundamentales para generar cualquier otro diámetro en función del tipo de distribución probabilística que mejor se ajuste a la curva granulométrica de la muestra.(García y Vide, 2001, p. 6)

#### 4.2.16.4. Coeficiente de uniformidad ( $C_u$ )

El La relación entre los diámetros correspondientes al 60% ( $D_{60}$ ) y al 10% ( $D_{10}$ ) derivada de la curva granulométrica es el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ). Cuando el material es más homogéneo, su valor disminuye. Para clasificar la uniformidad del material se utilizan los siguientes criterios: no uniforme ( $C_u > 15$ ), uniformidad media ( $5 < C_u < 15$ ) y granulometría muy uniforme ( $C_u < 5$ ). (Caicedo, 2022, p. 24)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

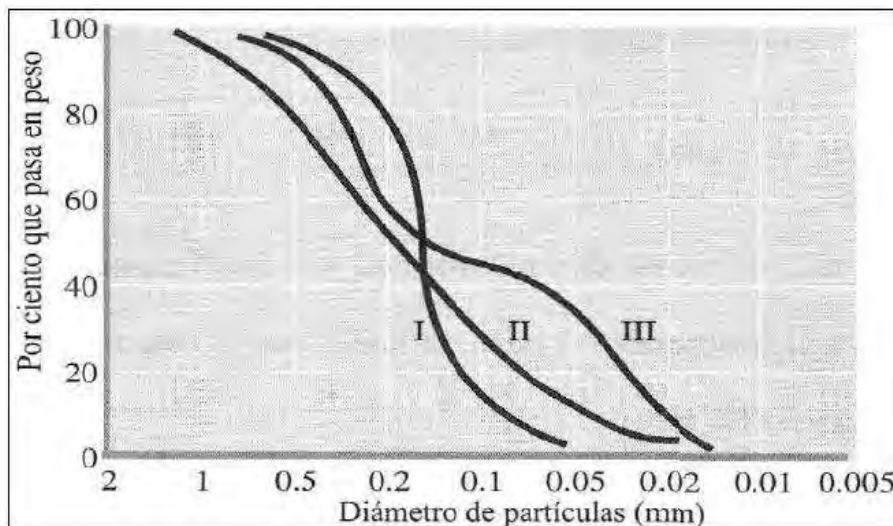
#### 4.2.16.5. Coeficiente de curvatura ( $C_c$ )

El coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) es un parámetro que indica el equilibrio relativo entre los distintos rangos de tamaño de las partículas en un suelo. Este coeficiente involucra las variables  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$ . Para suelos bien graduados, el valor de  $C_c$  generalmente se encuentra entre 1 y 3.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

**Figura 9**

*Tipos de curvas granulométricas*



Fuente:(Guívar, 2023 p.19)

En la Figura 9, Un suelo mal graduado con un gran número de granos de tamaño uniforme está representado por la curva I. Un suelo bien graduado con una amplia gama de tamaños de grano se representa en la curva II. Por último, la curva III muestra una granulometría discontinua, que se define por la ausencia de determinados tamaños de grano en la gama.

**Figura 10***Suelo bien graduado*

Fuente: (Guívar, 2023 p.19)

**Figura 11***Suelos de graduación uniforme*

Fuente : (Guívar, 2023 p.19)

**Figura 12***Suelos de graduación discontinua*

Fuente : (Guívar, 2023 p.19)

**4.2.17. Correlación y regresión**

(Díaz et al., 2020, p. 5) Según el autor el coeficiente de correlación es el número que permite evaluar la fuerza de la relación entre dos variables que participan sustancialmente en la ecuación de asociación y tienen una relación lineal.

**4.2.18. Coeficiente de correlación (r).**

Es la estadística que permite conocer el grado de correlación entre dos variables que se asocian linealmente. (Díaz et al., 2020, p. 28).

Para una muestra:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad ( 37 )$$

Los valores de r se encuentran entre -1 y 1, describen diferentes grados de asociación.

Si X e Y son independientes:  $S_{xy} = COV(x, y) = 0$ , luego  $r = 0$

El coeficiente de correlación se puede representar por la fórmula 38

$$r = \sqrt{r^2} = R \quad ( 38 )$$

Los valores que indican la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables vienen dados por el coeficiente de correlación. Estos números están comprendidos entre -1 y 1. Un número 0 indica que no hay correlación (independencia entre las variables), pero los valores extremos de -1 y 1 implican una correlación perfecta, negativa o positiva, respectivamente. Además, el coeficiente de correlación es simétrico como medida del vínculo entre dos variables, lo que significa que la correlación entre X e Y es igual a la correlación entre X e Y. (López Roldan y Fachelli, 2015, p. 13).

El coeficiente de correlación se interpreta de la siguiente manera:

$ r  = 0$	Correlación lineal nula, independencia lineal
$0 <  r  \leq 0.2$	Correlación lineal muy débil
$0.2 <  r  \leq 0.5$	Correlación lineal débil
$0.5 <  r  \leq 0.7$	Correlación lineal media
$0.7 <  r  \leq 0.9$	Correlación lineal fuerte
$0.9 <  r  < 1$	Correlación lineal muy fuerte
$ r  = 1$	Correlación lineal perfecta entre las variables

#### **4.2.19. Coeficiente de determinación ( $r^2$ )**

El coeficiente de determinación, o  $R^2$ , es el cuadrado del coeficiente de correlación ( $r^2$ ) y representa el porcentaje o la proporción de la varianza total de la variable dependiente y que puede explicar la variable independiente x.

$R^2$ : Indica el porcentaje de la variabilidad de la variable dependiente que puede explicar la variable independiente. Los errores de predicción disminuyen y la fiabilidad de la predicción aumenta a medida que  $R^2$  crece.

#### **4.2.20. Regresión lineal simple**

Es un modelo estadístico vinculado al coeficiente r que se utiliza para estimar cómo afecta una variable a otra. Facilita la predicción de los valores de una variable en función de los valores de otra. A mayor correlación entre las variables, mayor será la capacidad predictiva del modelo. (R. Hernández et al., 2014, p. 307).

#### 4.2.20.1. Ecuación de regresión

A continuación, se representa la ecuación genérica de la ecuación de regresión lineal.

$$y = a + bx \quad ( 39 )$$

Donde:

$x$ : Variable independiente, variable conocida.

$y$ : Variable dependiente, variable que se trata de predecir

$a$ : Intercepto, punto donde la línea de regresión cruza al eje  $y$ , es decir, valor de  $y$  cuando  $x = 0$ .

$b$ : La cantidad de cambio en  $y$  que resulta de un cambio unitario en  $x$  se conoce como coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión.

Estimación de los parámetros  $a$  y  $b$  para estimar se usa las fórmulas de mínimos cuadrados.

Los parámetros  $a$  y  $b$  dadas por las fórmulas:

$$a = \frac{\sum yi \sum xi^2 - \sum xiyi \sum xi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} \quad ( 40 )$$

$$a = \frac{n \sum xiyi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} \quad ( 41 )$$

#### 4.2.20.2. Regresión no lineal simple

Varias interacciones no lineales pueden reducirse a relaciones lineales con el artificio adecuado. (Rosales, 2019, p. 30)

a. Exponencial

Dada por la expresión

$$y = ab^x \quad ( 42 )$$

b. Potencial

Dada por la expresión

$$y = ax^b \quad ( 43 )$$

c. Logarítmica

Dada por la expresión

$$y = a \ln x + b \quad ( 44 )$$

### 4.3. Definición de términos básicos

**Cauce del río:** Se refiere a la configuración del terreno formada y ajustada por la acción del sistema fluvial con el objetivo de facilitar el transporte eficaz de caudal de agua y sedimentos. Muestra una estructura que delimita su curso y por la cual fluye el caudal durante la mayor parte del año. (V. Hernández y Nélida, 2018, p. 8)

**Tirante (y):** Distancia vertical entre la superficie del agua y el punto más bajo del canal.

**Radio hidráulico:** Área transversal de un conducto hidráulico dividida por su perímetro mojado.

**Velocidad de corriente:** Velocidad que alcanza la corriente en un punto determinado la velocidad que alcanza la corriente en un determinado punto.

**Coefficiente de rugosidad:** En un parámetro global que refleja la resistencia de los ríos y se utiliza ampliamente en la planificación el diseño de proyectos hidráulicos (Chen et al., 2023, p. 1)

**Consistencia:** Se refiere a una propiedad física que establece la capacidad del suelo para resistir la deformación bajo la influencia de fuerzas externas, dependiendo de la humedad y el estado del suelo, que puede manifestarse como frágil, plástico o fluido.(Chinchay, 2020, p. 24).

**Densidad del lecho fluvial:** Es la relación entre el peso del lecho fluvial y le volumen que ocupa (Rosales, 2019, p. 42).

**Correntómetro:** Un correntímetro es un dispositivo utilizado para medir la velocidad a la que fluyen las corrientes a través de diferentes áreas, incluyendo ríos, arroyos, puertos y el océano.

**Aforo con correntómetro:** El proceso de medición con un correntímetro consiste en explorar el campo de velocidad en la zona donde se va a medir el flujo de líquido.

**Topografía:** es un estudio matemático que utiliza sistemas cartesianos bidimensionales y tridimensionales para representar un área limitada de la superficie terrestre. Sus fundamentos se basan principalmente en la geometría y la trigonometría.(Guívar, 2023, p. 11)

**Estación total:** Este aparato, combina en un solo instrumento las capacidades de un teodolito electrónico, un distanciómetro electrónico y un ordenador que realiza los cálculos necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los lugares sobre el terreno.

**Pendiente:** La proyección horizontal de la longitud de un curso de agua en relación con su altitud se muestra gráficamente. (Guívar, 2023, p. 10)

**Límite plástico:** Esta característica geotécnica determina el contenido de humedad a partir del cual un suelo pasa del comportamiento plástico al semisólido. En concreto, es el contenido de agua al que el suelo se desmorona cuando se enrolla en hebras de 3 mm de diámetro.

**Límite líquido:** Esta característica geotécnica determina el contenido de humedad a partir del cual un suelo pasa de estado plástico a líquido. En concreto, es la cantidad de agua en un suelo que hace que empiece a actuar como un líquido y a fluir libremente. Para determinarlo se utilizan pruebas de laboratorio como la de Casagrande.

**Índice de plasticidad:** El índice de plasticidad proporciona información sobre la plasticidad y la cohesión del suelo

**Lecho de un río:** Corresponde al lecho de fondo donde el flujo de agua se desplaza debido a la influencia de la gravedad y además se encarga de transportar sedimentos (Guívar, 2023, p. 39).

**Máximas avenidas:** son eventos hidrológicos caracterizados por un aumento significativo en el caudal de un río o arroyo, generalmente debido a lluvias intensas, deshielo rápido o la combinación de ambos. Estos eventos provocan que el nivel del agua se eleve considerablemente, superando la capacidad normal del cauce y a menudo resultando en inundaciones

**Modelo de regresión lineal:** Los modelos de regresión lineal son de los más empleados en hidrología para establecer relaciones lineales entre dos variables o entre una variable y un conjunto de variables.

**Diámetro efectivo:** Es el diámetro representativo que será usado para calcular valores de rugosidad en el área estudiado (Guívar, 2023, p. 39).

**Análisis granulométrico:** Es un procedimiento que implica la segregación de partículas del suelo, facilitando la identificación de los porcentajes retenidos y pasantes, comúnmente conocido como la gradación del suelo. (Rosales, 2019, p. 40)

**Tamices:** Los tamices permiten separar y clasificar partículas sólidas de un material en fracciones de tamaño específicas.

**Copa Casagrande:** La copa Casagrande es un dispositivo utilizado en geotecnia para determinar el límite líquido de los suelos.

## CAPITULO V. METODOLOGÍA

### 5.1. Método de investigación

Aguilera ( 2011, p. 87) afirma que el método científico es una característica de la ciencia e indica que la ausencia de este método implica la ausencia de ciencia. Sin embargo, también destaca que el método científico no es infalible ni auto suficiente además que se requiere de algún conocimiento previo donde se formula un problema y se somete a prueba de hipótesis.

La investigación comenzó con la observación directa de las particularidades del lecho fluvial y la medición de los datos hidráulicos en las secciones designadas de estudio del río Chilca. En esta investigación se aplicó el **método científico**, pues como se ha mencionado anteriormente, se consideró como principal objetivo desarrollar un modelo para estimar la rugosidad en relación del lecho fluvial del río, lo cual fue sometido a una prueba de hipótesis, en el cual se verificó la validez de esta.

### 5.2. Tipo de investigación

De acuerdo a Borja ( 2016, p. 10) las investigaciones aplicadas son aquellas que utilizan el conocimiento existente para generar nuevo conocimiento, con el cual se pueda dar alternativas de solución a un problema.

Es por ello que la investigación fue **tipo aplicada**, pues se utilizó conocimientos referentes a la rugosidad, medición de velocidades, estimación de caudales y demás temas, con el fin de haber desarrollado el modelo de estimación de valores de rugosidad.

### 5.3. Nivel de investigación

Borja (2016, p. 13) describe la investigación correlacional como el análisis de la relación que existe entre eventos particulares, ofreciendo indicios sobre la realidad que podría existir entre dos o más elementos, permitiendo la estimación de resultados específicos.

La investigación fue **correlacional** debido a que se desarrolló un modelo para estimar relacionando las características superficiales del lecho con la rugosidad del río Chilca.

### 5.4. Diseño de la investigación

Hernández et al.( 2014, p. 151) ,mencionan que el diseño no experimental transversal recopila datos en un único momento, abordando un periodo específico.

Su objetivo fue describir las variables analizando como inciden e interactúan en un momento determinado.

En esta investigación se optó por el diseño **no experimental de corte transversal** ya que se tomaron datos en momentos específicos, a partir de ello se determinó la relación que existe entre las características superficiales del lecho fluvial y la rugosidad del río.

## **5.5. Población, muestra y muestreo**

### **5.5.1. Población**

Yuni y Urbano (2014, p. 20), mencionan que la población es el conjunto cuyas características son similares, por lo tanto, es importante determinar las unidades de observación para determinar la población del estudio. Bajo lo descrito, la **población** en esta investigación estuvo basado en la cuenca media del Río chilca-Huancayo.

### **5.5.2. Muestra**

Según Borja (2016, p. 31) ,la muestra de estudio fue un subgrupo representativo de la población, de los cuales se recopilaron la mayor cantidad de información. En esta investigación la **muestra** correspondió aproximadamente a 1 km del río Chilca, el cual fue tramo correspondiente a la zona de riesgo de desborde e inundaciones y no fue canalizado.

### **5.5.3. Muestreo**

Según Yuni y Urbano ( 2014, p. 240), refieren como muestreo a los métodos utilizados para elegir los casos o elementos que constituirán la muestra. Para esta investigación se aplicó **el muestreo no probabilístico** debido a que no dependió de una fórmula estadística sino de criterios del investigador, ya que el muestreo no probabilístico tiene un alcance más limitado.

## **5.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **5.6.1. Técnicas**

R. Hernández et al.(2014, p. 252) mencionan que la observación es una técnica de recopilación de datos que implica el registro sistemático, valido y confiable.

De esta manera refiere que la observación directa es la descripción de lo que estamos viendo, escuchando, olfateando y palpando.

La técnica que se empleó en esta investigación fue la **observación directa**, para el desarrollo se delimitó la cuenca media del río chilca seguidamente se tomó medidas del ancho

y tirantes del río, el cambio de pendientes, después se dividió en secciones y se extrajo muestras del lecho fluvial.

### **5.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

En esta investigación se aplicó como instrumento **fichas de recopilación de información**, el cual brindó datos de caracterización del lecho fluvial y parámetros de las secciones de estudio el cual se adjunta en el Anexo 2.

### **5.6.3. Validez**

R. Hernández et al.(2014, p. 200) indican que la validez se relaciona con el nivel en que el instrumento mide de manera efectiva la variable que busca evaluar. Por lo tanto es importante aplicar un instrumento correcto, las fichas diseñadas de recopilación de información deberán permitir medir lo que necesitamos para nuestra investigación.

Tomando en cuenta a lo que refiere el autor, se tomó en cuenta el juicio de expertos el cual validó el instrumento y determinó ser el correcto.

### **5.6.4. Confiabilidad**

Según R. Hernández et al.( 2014, p. 200),la confiabilidad hace referencia a la medida en que se aplica consistentemente al mismo objeto de estudio produzca los mismos resultados, la confiabilidad se determina considerando que el instrumento sea válido y objetivo.

La confiabilidad de esta investigación se verificó mediante la evaluación de la ficha que poseía datos exactos y suficiente información para llevar a cabo el desarrollo del modelo y para la granulometría correspondió a la calibración de los instrumentos.

## **5.7. Procedimiento de recolección de datos**

### **5.7.1. Fase de Pre campo**

En la fase de pre campo se inicia con la planificación considerando fechas para realizar la recolección de datos en campo, se gestiona equipos y materiales como la estación total, correntómetro, para realizar los diferentes trabajos en campo.

## **5.7.2. Fase de Campo**

### **5.7.2.1. Recolección de información**

Utilizando los instrumentos adecuados, recogimos en primer lugar los parámetros hidráulicos de las secciones en los puntos de aforo, tales como profundidades de flujo, área mojada, perímetro mojado, anchura superficial, pendientes, velocidades y materiales del lecho. Estos datos eran esenciales para el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basado en las características superficiales del lecho del río.

Durante los periodos de estiaje, sobre todo en julio, se realizó el levantamiento topográfico, las mediciones de velocidad y la extracción de materiales del lecho. Dado que el caudal del río disminuye en estas épocas, es posible medir los parámetros adecuadamente y con poca dificultad.

### **5.7.2.2. Planificación en campo**

A continuación, se describe el proceso de recogida de datos sobre el terreno, que consistió en acudir a los puntos de medición y muestreo y examinarlos:

- Se identifican el emplazamiento y la posición de los puntos de medición. Se anotan las coordenadas UTM y se establecen los lugares de muestreo.
- De acuerdo A lo largo del tramo de estudio se localizaron cinco puntos de aforo (PA) en base a la muestra; las ubicaciones de los puntos de aforo se muestran en el Anexo 4. Adicionalmente, tomando en cuenta los criterios del SENAMHI para las mediciones relacionadas, se midieron las velocidades en cada localidad utilizando el correntímetro que fue solicitado al Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- En cada punto de aforo se tomó material del cauce y se envió al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú para su estudio granulométrico.

### **5.7.2.3. Recolección de datos del laboratorio**

Teniendo las muestras se lleva al laboratorio para su respectivo análisis granulométrico, y otras características del lecho fluvial del río Chilca.

## **5.7.3. Fase de Gabinete o Procesamiento de datos**

Para obtener el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad a partir de las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca se procede de la siguiente manera: se utilizan datos de campo para estimar los parámetros hidráulicos, diámetros característicos,

curva granulométrica y coeficiente de rugosidad de Manning utilizando los métodos sugeridos para relacionar y comparar:

1. Una vez realizado la selección las muestras (puntos de aforo) se identifica sus progresivas, teniendo 5 puntos de aforo.
2. Las bibliografías reputadas dividen la anchura de la sección en el número de subsecciones.
3. Mediante el método de medición de la velocidad, el método de la ecuación de Manning y el método de Cowan, se utilizarán los datos de aforo del río para determinar el coeficiente de rugosidad y los parámetros hidráulicos del río..
4. Se realiza la granulometría para determinar diámetros efectivos o representativos que permitirá relacionar con los valores del coeficiente de rugosidad.
5. Finalmente, se obtiene el modelo a partir de la correlación que existe entre los diámetros efectivos y valores calculados por los 3 métodos ya antes mencionado.

### **5.7.3.1. Obtención del modelo de estimación del coeficiente de rugosidad**

#### **5.7.3.1.1. Pasos para el análisis de regresión**

(Villon, 2005) , explica que el análisis de regresión es una técnica determinista que ayuda a determinar la naturaleza de la relación funcional entre dos o más variables y permite un cierto grado de precisión en la estimación de los valores de  $y = f(x)$ .

1. Elija entre una o varias funciones de conexión asociadas que sean lineales o no lineales.

$$\begin{aligned}
 y &= a + bx \\
 y &= ab^x \\
 y &= ax^b \\
 y &= a \ln x + b
 \end{aligned}$$

2. Estimación de las dos métricas utilizadas para evaluar la fuerza de la correlación.  $(r^2, r)$ .
3. La prueba t es una prueba significativa de los parámetros estadísticos que evalúan la asociación correlativa.

El coeficiente de correlación entre dos variables,  $\rho$ , tiene un valor que oscila entre -1 y 1. La hipótesis es que  $H_0: \rho = 0$

$$H_a: \rho \neq 0$$

4.  $t$  calculado ( $t_c$ ) y  $t$  tabular ( $t_t$ )

(Villon , 2005) ,indica que el cálculo de  $t$  calculado ( $t_c$ ) está dado por la ecuación:

$$t_c = \frac{r\sqrt{n_1 - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

Donde:

$r$ : coeficiente de correlación

$n_1$ : Numero de pares de valores

$r^2$ : coeficiente de determinación

5. Las tablas creadas específicamente para este fin se utilizan para calcular el valor tabular de  $t$ , representado como  $t_t$ , utilizando un nivel de significación de  $\alpha$  o una probabilidad de  $(1 - \alpha)$  y el grado de libertad ( $GL = n_1 - 2$ ), donde  $n_1$  es el número de pares de valores, que en este caso son los puntos de aforo. En otras palabras,  $\alpha/2 = 0,025$ .

6. Criterio de Decisión

La hipótesis nula se acepta si  $|t_c| \leq t_t$ , lo que demuestra que  $\rho = 0$  y que no existe una asociación significativa. La hipótesis nula se rechaza si  $|t_c| > t_t$ , indicando que  $\rho \neq 0$ , lo que sugiere una correlación significativa entre las variables. Así, utilizando técnicas de regresión lineal y/o no lineal, se obtiene el modelo de estimación de la rugosidad de Manning, expresada en función de la granulometría. A continuación, se halla el modelo con el mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y se relaciona con las variables correspondientes.

## 5.8. Métodos de análisis

Basándose en la relación encontrada entre el coeficiente de rugosidad y el lecho fluvial, en este estudio se emplearon estadísticas descriptivas e inferenciales como método de procesamiento y análisis de datos. Para procesar el material se utilizaron programas como Excel y SPSS.

## 5.9. Aspectos éticos

En este estudio se tuvieron en cuenta los derechos de propiedad intelectual de los autores, así como la validez de los resultados, la fiabilidad de los datos recopilados y el respeto por el medio ambiente a lo largo de la recogida de datos. Al ser genuino, único, imparcial y privado, se tuvieron en cuenta los principios éticos.

## CAPITULO VI. ANALISIS, RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Breve descripción de la zona de estudio

#### 6.1.1. Ubicación

El tramo de estudio del río Chilca, de aproximadamente 1 km de longitud, está situado en la región Junín de la provincia de Huancayo, en el distrito de Chilca. La avenida José Olaya marca el inicio del tramo, mientras que la calle Real marca su final.

#### 6.1.2. Descripción de la zona de estudio

Ubicado en el departamento de Junín, el distrito de Chilca es uno de los 28 distritos que conforman la provincia de Huancayo. El río Chilca, cuyos nacientes se encuentran al sureste de la ciudad de Huancayo, es el que atraviesa la zona que comprende el distrito de Chilca. Nace de unos manantiales cercanos a la laguna de Tiullacocha, se une a la quebrada del caserío de Huinchos, al este de la ciudad, y fluye hacia el sur hasta encontrarse con el río Mantaro en el suroeste.

**Figura 13**

*Tramo de estudio, zona inundable-Río Chilca*



Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Actualmente, el río Chilca es considerado uno de los más contaminados de la ciudad, lo que hace necesaria la ejecución de trabajos de descolmatación al menos cinco veces al año. Además, se implementan medidas preventivas para proteger a la población que habita

en sus alrededores, frente a posibles fenómenos naturales que puedan poner en riesgo su seguridad.

El tramo de estudio del río es aquel que no ha sido canalizado, es particularmente vulnerable a crecidas repentinas. Por esta razón, se seleccionó dicho tramo con el fin de proponer estructuras de protección que mitiguen los efectos de estas crecidas.

#### **Figura 14**

*Realidad: Sacos de arena para prevenir inundaciones*



Fuente: Elaboración propia

## **6.2. Estudios previos**

### **6.2.1. Estudios de campo**

#### **6.2.1.1. Estudios topográficos**

Se inicio con el levantamiento topográfico del rio chilca con la estación total SOKIA modelo IM-55 considerando: el inicio del tramo de estudio del rio chilca la Av. José Olaya y el fin de tramo de estudio la calle Real.

La estación se situó en lugares clave y el levantamiento topográfico se realizó durante los periodos de bajo caudal del río. Los detalles de la topografía se realizaron hasta las viviendas que colindan los ríos.

### **PARAMETROS IMPORTANTES PARA LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS**

Primero, se niveló el equipo topográfico. A continuación, se ingresaron los datos necesarios para crear los puntos de la topografía del terreno, que incluyeron las coordenadas

(Este, Norte, Cota) en el sistema UTM WSG84, un punto de referencia para el azimut, y las alturas del equipo y del prisma (generalmente 1.60 m). Con toda esta información en la estación total, se radiaron todos los puntos del terreno

Se ubicó la estación total en la zona de inicio para el levantamiento topográfico del río correspondiente, se inició tomando los puntos del ancho del río en diferentes tramos seguidamente las profundidades, pendientes, etc. Además de puentes y otras estructuras que pertenecen a la zona de estudio.

### Figura 15

*Levantamiento topográfico de la zona de estudio-Río Chilca*



Fuente: Elaboración propia

#### **6.2.1.2. Aforo de río Chilca**

Los puntos de aforo han sido elegidos de acuerdo con ciertos criterios, como tramos vulnerables, posibles desbordamientos, además de ser accesibles para la medición de parámetros hidráulicos. A lo largo del tramo se eligió 5 puntos de aforo el cual se detalla a continuación.

##### a. PA-01: Av. José Olaya.

El punto está ubicado aguas abajo del puente de la Av. José Olaya del Distrito de Chilca, donde se da inicio con la progresiva 0+00.00 Km el punto de muestra no posee una estructura de protección lo cual es un tramo propenso a desbordamiento además de afectar a las viviendas que están alrededor del río.

- b. PA-02: A 30 m después de Jr. Garcilazo de la Vega.

El punto está ubicado a 30 m después del Jr. Garcilazo de la Vega del Distrito de Chilca, en la progresiva 0+210.00 Km en el punto de muestra se observa que existe en la margen derecha muros de protección de concreto, pero están deteriorados sin embargo en la margen izquierda no se visualiza alguna estructura de protección lo cual está propenso a desbordes y puede afectar a ciertas viviendas que están alrededor del río.

- c. PA-03: A 30 m después de la Av. Jacinto Ibarra

El tercer punto de aforo se ubica a 30 m de la Av. Jacinto Ibarra, en la progresiva 0+470.00 km. En la margen de este punto de muestreo no existen ninguna estructura de protección, en este punto se aprecia mucha vegetación y residuos sólidos.

- d. PA-04: A 30 m después del Jr. Manco Cápac

El cuarto punto de aforo se ubica a 30 m del Jr. Manco Cápac en la progresiva 0+700.00 cm, un el punto de aforo no se visualiza estructuras de protección, pero se aprecia sacos de arena que posiblemente hayan colocado ante la crecida del río, además se puede visualizar que hay vivienda que se ven afectadas y algunas se están demoliendo, siendo una zona de riesgo ante posibles inundaciones.

- e. PA-05: A 30 m antes de la Calle Real

El quinto punto de aforo se ubica antes de llegar a la calle Real en la progresiva 0+900.00 km. En las márgenes del río se puede ver la presencia de vegetación y residuos sólidos.

**Tabla 7**

*Ubicación de los puntos de aforo*

Punto de Aforo	Ubicación	Puntos de aforo		Altitud (msnm)	Progresiva km
		Coordenadas UTM Este	Coordenadas UTM Norte		
PA-01	Av. José Olaya	478432.107	8665185.89	3288.260	0+000.00 KM
PA-02	A 30 m después de Jr. Garcilazo de la Vega	478281.568	8665156.67	3285.240	0+210.00 KM
PA-03	A 30 m después de la Av. Jacinto Ibarra	478059.923	8665011.89	3280.190	0+470.00 KM
PA-04	A 30 m después del Jr. Manco Cápac	477855.230	8665008.35	3276.390	0+700.00 KM
PA-05	A 30 m antes de la Calle Real	477700.238	8664940.50	3273.400	0+900.00 KM

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.1.3. Velocidades

La medición de velocidades se realizó teniendo en consideración criterios ya mencionados, la sección se divide en 8 tramos en cada tramo se mide las alturas, a partir de ello se midió la velocidad al 20,60 y 80% de la altura “y”. Mediante mediciones con el correntómetro se obtuvo velocidades V0.2, V0.6, y V0.8 en cada punto de aforo.

**Tabla 8**

*Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-01*

<b>PA-01: Av. José Olaya. km: 0+00.00</b>							
<b>Distancia desde la orilla</b>	<b>Prof.</b>	<b>0.2y</b>	<b>0.6y</b>	<b>0.8y</b>	<b>V0.2</b>	<b>V0.6</b>	<b>V0.8</b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>
0.53	0.53	0.11	0.32	0.42	0.70	0.63	0.40
1.05	0.60	0.12	0.36	0.48	0.70	0.57	0.40
1.58	0.65	0.13	0.39	0.52	0.60	0.50	0.40
2.10	0.72	0.14	0.43	0.58	0.60	0.53	0.40
2.63	0.66	0.13	0.40	0.53	0.60	0.53	0.40
3.16	0.60	0.12	0.36	0.48	0.70	0.53	0.40
3.68	0.54	0.11	0.32	0.43	0.70	0.60	0.40
4.21							

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9**

*Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-02*

<b>PA-02: Av. Jr. Garcilazo de la Vega. km: 0+210.00</b>							
<b>Distancia desde la orilla</b>	<b>Prof.</b>	<b>0.2y</b>	<b>0.6y</b>	<b>0.8y</b>	<b>V0.2</b>	<b>V0.6</b>	<b>V0.8</b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>
0.54	0.63	0.126	0.38	0.50	0.65	0.50	0.40
1.08	0.67	0.134	0.40	0.54	0.55	0.43	0.40
1.62	0.67	0.134	0.40	0.54	0.53	0.47	0.40
2.16	0.67	0.134	0.40	0.54	0.53	0.43	0.40
2.70	0.65	0.130	0.39	0.52	0.53	0.43	0.40
3.24	0.61	0.122	0.37	0.49	0.65	0.57	0.40
3.78	0.56	0.112	0.34	0.45	0.70	0.60	0.50
4.32							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-03

PA-03: Av. Jacinto Ibarra. km: 0+470.00							
Distancia desde la orilla	Prof.	0.2y	0.6y	0.8y	V0.2	V0.6	V0.8
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
0.57	0.68	0.136	0.41	0.54	0.60	0.50	0.40
1.14	0.72	0.144	0.43	0.58	0.50	0.43	0.40
1.70	0.71	0.142	0.43	0.57	0.55	0.43	0.43
2.27	0.70	0.140	0.42	0.56	0.53	0.47	0.45
2.84	0.66	0.132	0.40	0.53	0.65	0.53	0.47
3.41	0.60	0.120	0.36	0.48	0.70	0.53	0.50
3.98	0.54	0.108	0.32	0.43	0.80	0.47	0.30
4.54							

Fuente: Fuente propia

Tabla 11

Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-04

PA-04: Jr. Manco Cápac. km: 0+700.00							
Distancia desde la orilla	Prof.	0.2y	0.6y	0.8y	V0.2	V0.6	V0.8
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
0.56	0.54	0.108	0.32	0.43	0.73	0.63	0.50
1.12	0.54	0.108	0.32	0.43	0.60	0.53	0.40
1.69	0.59	0.118	0.35	0.47	0.70	0.63	0.40
2.25	0.63	0.126	0.38	0.50	0.65	0.53	0.40
2.81	0.65	0.130	0.39	0.52	0.65	0.53	0.40
3.37	0.67	0.134	0.40	0.54	0.63	0.57	0.40
3.93	0.69	0.138	0.41	0.55	0.63	0.60	0.50
4.50							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Registro de mediciones mediante el correntómetro en el punto de aforo PA-05

PA-05: Calle Real. km: 0+900.00							
Distancia desde la orilla	Prof.	0.2y	0.6y	0.8y	V0.2	V0.6	V0.8
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
0.55	0.55	0.110	0.33	0.44	1.10	0.93	0.70
1.10	0.63	0.126	0.38	0.50	0.90	0.80	0.70
1.64	0.72	0.144	0.43	0.58	0.80	0.67	0.50
2.19	0.79	0.158	0.47	0.63	0.70	0.63	0.50
2.74	0.77	0.154	0.46	0.62	0.70	0.63	0.50
3.29	0.75	0.150	0.45	0.60	0.70	0.60	0.50
3.84	0.73	0.146	0.44	0.58	0.60	0.43	0.40
4.38							

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.1.4. Pendientes

La longitud planimétrica del segmento fluvial y la diferencia de elevación entre sus extremos se determinaron mediante el levantamiento topográfico, lo que permitió calcular la pendiente del tramo analizado.

**Tabla 13**

*Pendientes*

Puntos de Aforo	S(m/m)
PA-01	0.0014
PA-02	0.0007
PA-03	0.0006
PA-04	0.0011
PA-05	0.0003

Fuente: Elaboración propia

### 6.3. Estudios de laboratorio

#### 6.3.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es el procedimiento que se utilizó para determinar la distribución de tamaño de las partículas del lecho de fondo del río Chilca. Este análisis es fundamental para clasificar los suelos mediante el tamizado.

##### Preparación de la muestra

- La cantidad de muestra necesaria en cada punto de aforo fue aproximadamente 500 gr.
- La muestra se seca en un horno a una temperatura de 105-110°C durante 24 horas para eliminar la humedad. Este paso es crucial para asegurar que el análisis se realice con material seco.

##### Análisis por tamizado

- **Selección de Tamices:** Se elige una serie de tamices con aberturas de tamaño decreciente, siguiendo normas estándar como ASTM o ISO.
- **Tamizado:** En el tamiz superior de la serie, dispuesto en orden decreciente de tamaño, se deposita la muestra seca. A continuación, la serie de tamices se agita o vibra durante un tiempo predeterminado, a menudo de diez a quince minutos.
- **Peso de las Fracciones:** Se pesa la cantidad de material retenido en cada filtro después del tamizado. El porcentaje acumulado de material que pasa por cada filtro se determina utilizando estos pesos.

- **Cálculo y Representación:** Se calcula el porcentaje acumulativo de material que pasa por cada tamiz y se representa en una curva granulométrica en un gráfico semilogarítmico, que muestra la distribución del tamaño de las partículas.

Las hojas del análisis granulométrica se aprecian en el Anexo 3.

### 6.3.2. Diámetros efectivos del lecho de fondo del Rio Chilca

Del análisis granulométrico del lecho fluvial se han determinado los diámetros efectivos de cada punto de aforo, los cuales se presentan en **Tabla 14**.

**Tabla 14**

*Diámetros representativos de las partículas*

<b>Cuadro de resumen de diámetros representativos de las partículas (MM)</b>						
<b>Puntos de Aforo</b>	<b>d10</b>	<b>d30</b>	<b>d50</b>	<b>d60</b>	<b>d84</b>	<b>d90</b>
<b>PA-01</b>	3.367	15.881	27.604	32.615	45.091	48.305
<b>PA-02</b>	0.838	7.948	15.724	20.202	32.875	37.675
<b>PA-03</b>	1.036	8.745	20.430	26.978	47.457	55.581
<b>PA-04</b>	1.362	13.493	24.588	32.241	53.600	61.159
<b>PA-05</b>	1.270	13.054	22.589	26.974	53.600	45.316

Fuente: Elaboración propia

Los diámetros representativos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  corresponden al 10%,30%,50%,60%,84% y 90% de los porcentajes acumulados que pasan de la curva granulométrica.

### 6.3.3. Límites de Atterberg del lecho de fondo del Rio Chilca

El lecho de fondo del Rio chilca carece de límites de Atterberg, como el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), porque no contiene una cantidad significativa de partículas finas (arcilla y limo). Los límites de Atterberg son propiedades que caracterizan la plasticidad y la consistencia de los suelos finos en diferentes estados de humedad. Por lo tanto, el lecho de fondo del Rio Chilca está compuestos predominantemente de partículas gruesas, como arenas y gravas, no exhiben estos comportamientos plásticos y, en consecuencia, no tienen límites de Atterberg definidos.

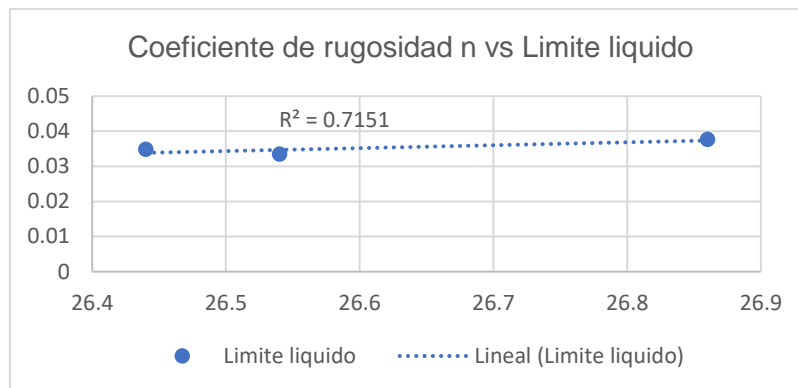
En la **Tabla 15** se visualiza los puntos de aforo con sus respectivos límites de atterberg.

**Tabla 15***Resumen de Límites de Atterberg*

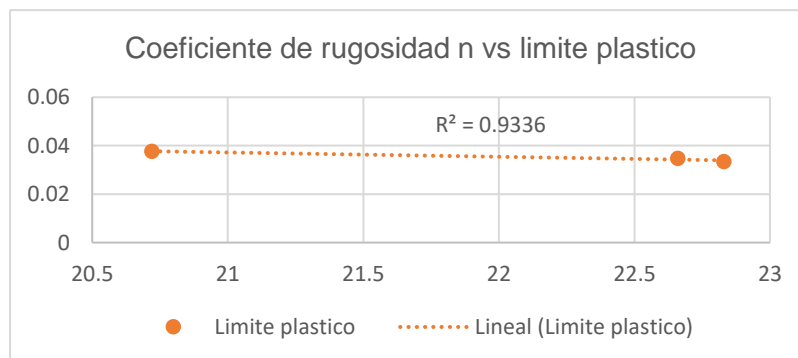
Límites de Atterberg			
Puntos de Aforo	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
PA-01	NP	NP	NP
PA-02	26.44	22.66	3.79
PA-03	26.54	22.83	3.71
PA-04	NP	NP	NP
PA-05	26.86	20.72	6.14

Fuente: Elaboración propia

En 2 puntos de aforo no presentó límites, sin embargo, en 3 puntos de aforo se apreció los límites y el índice de plasticidad. En las figuras **Figura 16** y **Figura 17** el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.7151$  para el límite líquido,  $0.9336$  para el límite plástico, la correlación que existe es fuerte por lo tanto se concluye que los límites de las partículas se presentan en diámetros menores y el modelo estará en función a diámetros menores que el 50%.

**Figura 16***Relación entre el coeficiente de rugosidad y el límite líquido*

Fuente: Elaboración propia

**Figura 17***Relación entre el coeficiente de rugosidad y el límite plástico*

Fuente: Elaboración propia

## 6.4. Análisis de la información

### 6.4.1. Parámetros hidráulicos de las secciones transversales

En la Tabla 16 se aprecia el cálculo del ancho, área y caudal del punto de aforo a partir los datos recolectados en campo.

**Tabla 16**

*Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-01*

PA-01: Av. José Olaya. km : 0+00.00										
Distancia desde la orilla	Prof.	% Prof.	Prof. de medición	V0.6 (m/s)			Velocidad promedio (vm)	Ancho Δx	Área A	Caudal Q
				v1	v2	v3				
(m)	(m)	(%)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
0.53	0.53	60%	0.32	0.60	0.70	0.60	0.63	0.53	0.37	0.234
1.05	0.6	60%	0.36	0.60	0.50	0.60	0.57	0.53	0.32	0.179
1.58	0.65	60%	0.39	0.50	0.50	0.50	0.50	0.53	0.34	0.171
2.10	0.72	60%	0.43	0.50	0.50	0.60	0.53	0.53	0.38	0.202
2.63	0.66	60%	0.40	0.50	0.60	0.50	0.53	0.53	0.35	0.185
3.16	0.6	60%	0.36	0.60	0.50	0.50	0.53	0.53	0.32	0.168
3.68	0.54	60%	0.32	0.60	0.60	0.60	0.60	0.53	0.40	0.240
4.21								<b>TOTAL</b>	2.47	1.379

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-02*

PA-02: Av. Jr. Garcilazo de la Vega. km: 0+210.00										
Distancia desde la orilla	Prof.	% Prof.	Prof. de medición	V0.6 (m/s)			Velocidad promedio (vm)	Ancho Δx	Área A	Caudal Q
				v1	v2	v3				
(m)	(m)	(%)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
0.54	0.63	60%	0.38	0.50	0.50	0.50	0.50	0.54	0.42	0.211
1.08	0.67	60%	0.40	0.40	0.40	0.50	0.43	0.54	0.36	0.157
1.62	0.67	60%	0.40	0.40	0.50	0.50	0.47	0.54	0.36	0.169
2.16	0.67	60%	0.40	0.40	0.40	0.50	0.43	0.54	0.36	0.157
2.70	0.65	60%	0.39	0.50	0.40	0.40	0.43	0.54	0.35	0.152
3.24	0.61	60%	0.37	0.60	0.60	0.50	0.57	0.54	0.33	0.187
3.78	0.56	60%	0.34	0.60	0.60	0.60	0.60	0.54	0.44	0.264
4.32								<b>TOTAL</b>	2.63	1.296

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-03

PA-03: Av. Jacinto Ibarra. km: 0+470.00										
Distancia desde la orilla	Prof.	% Prof.	Prof. de medición	V0.6 (m/s)			Velocidad promedio (vm)	Ancho Δx	Área A	Caudal Q
				v1	v2	v3				
(m)	(m)	(%)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
0.57	0.68	60%	0.41	0.50	0.50	0.50	0.50	0.57	0.49	0.243
1.14	0.72	60%	0.43	0.40	0.50	0.40	0.43	0.57	0.41	0.177
1.70	0.71	60%	0.43	0.40	0.40	0.50	0.43	0.57	0.40	0.175
2.27	0.7	60%	0.42	0.50	0.50	0.40	0.47	0.57	0.40	0.186
2.84	0.66	60%	0.40	0.50	0.60	0.50	0.53	0.57	0.37	0.200
3.41	0.60	60%	0.36	0.60	0.50	0.50	0.53	0.57	0.34	0.182
3.98	0.54	60%	0.32	0.60	0.40	0.40	0.47	0.57	0.37	0.175
4.54								<b>TOTAL</b>	2.79	1.337

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-04

PA-04: Jr. Manco Cápac. km: 0+700.00										
Distancia desde la orilla	Prof.	% Prof.	Prof. de medición	V0.6 (m/s)			Velocidad promedio (vm)	Ancho Δx	Área A	Caudal Q
				v1	v2	v3				
(m)	(m)	(%)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
0.56	0.54	60%	0.32	0.70	0.50	0.70	0.63	0.56	0.34	0.216
1.12	0.54	60%	0.32	0.60	0.50	0.50	0.53	0.56	0.30	0.162
1.69	0.59	60%	0.35	0.60	0.60	0.70	0.63	0.56	0.33	0.210
2.25	0.63	60%	0.38	0.50	0.60	0.50	0.53	0.56	0.35	0.189
2.81	0.65	60%	0.39	0.50	0.60	0.50	0.53	0.56	0.37	0.195
3.37	0.67	60%	0.40	0.60	0.50	0.60	0.57	0.56	0.38	0.213
3.93	0.69	60%	0.41	0.60	0.60	0.60	0.60	0.56	0.50	0.299
4.50								<b>TOTAL</b>	2.57	1.484

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Cálculo de parámetros hidráulicos en el punto de aforo PA-05

PA-05: Calle Real. km: 0+900.00										
Distancia desde la orilla	Prof.	% Prof.	Prof. de medición	V0.6 (m/s)			Velocidad promedio (vm)	Ancho Δx	Área A	Caudal Q
				v1	v2	v3				
(m)	(m)	(%)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
0.55	0.55	60%	0.33	1.00	0.90	0.90	0.93	0.55	0.36	0.333
1.10	0.63	60%	0.38	0.80	0.80	0.80	0.80	0.55	0.35	0.276
1.64	0.72	60%	0.43	0.70	0.60	0.70	0.67	0.55	0.39	0.263
2.19	0.79	60%	0.47	0.60	0.60	0.70	0.63	0.55	0.43	0.274
2.74	0.77	60%	0.46	0.60	0.70	0.60	0.63	0.55	0.42	0.267
3.29	0.75	60%	0.45	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.41	0.247
3.84	0.73	60%	0.44	0.40	0.50	0.40	0.43	0.55	0.52	0.223
4.38								<b>TOTAL</b>	2.88	1.883

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.2. Cálculo de Área mojada, Perímetro mojado y Radio Hidráulico

**Tabla 21**

Área mojada (A), Perímetro mojado(P) y el Radio hidráulico (R) en cada sección transversal

Puntos de Aforo	A(m <sup>2</sup> )	P(m)	R(m)
PA-01	2.469	5.0.27	0.491
PA-02	2.627	5.185	0.507
PA-03	2.785	5.294	0.526
PA-04	2.570	5.227	0.492
PA-05	2.877	5.200	0.553

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.3. Coeficiente de rugosidad por método de medición de velocidades

Los  $n$  de Manning calculado por el método de medición de velocidades se presenta en la **Tabla 22**. El proceso está explicado en el inciso 4.2.13.2.

**Tabla 22**

Coeficiente de rugosidad de Manning por el método de la medición de velocidades

Coeficiente de rugosidad de Manning	
Puntos de Aforo	$n$
PA-01	0.0406
PA-02	0.0296
PA-03	0.0313
PA-04	0.0355
PA-05	0.0315

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.4. Coeficiente de rugosidad por método de ecuación de Manning

Los  $n$  de Manning calculado por el método de la ecuación de Manning se presenta en la **Tabla 23** y su proceso está explicado en el inciso 4.2.13.3.

**Tabla 23**

Coeficiente de rugosidad de Manning por el método de la ecuación de Manning

Coeficiente de rugosidad de Manning	
Puntos de Aforo	$n$
PA-01	0.0420
PA-02	0.0348
PA-03	0.0334
PA-04	0.0361
PA-05	0.0377

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.5. Coeficiente de rugosidad por método de Cowan

Los  $n$  de Manning calculado por el método de la ecuación de Cowan se presenta en la **Tabla 24** y su procedimiento se detalla en el inciso 4.2.13.1

**Tabla 24**

*Coeficiente de rugosidad por el método de Cowan*

Coeficiente de rugosidad de Manning	
Puntos de Aforo	$n$
PA-01	0.0580
PA-02	0.0450
PA-03	0.0500
PA-04	0.0530
PA-05	0.0550

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.6. Relación de los coeficientes de rugosidad con los diámetros efectivos de lecho de río

Para determinar las relaciones entre el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) y los diámetros representativos del material del lecho, se desarrollaron modelos estadísticos según lo descrito en el apartado 4.2.20.

##### 6.4.6.1. Regresión lineal simple

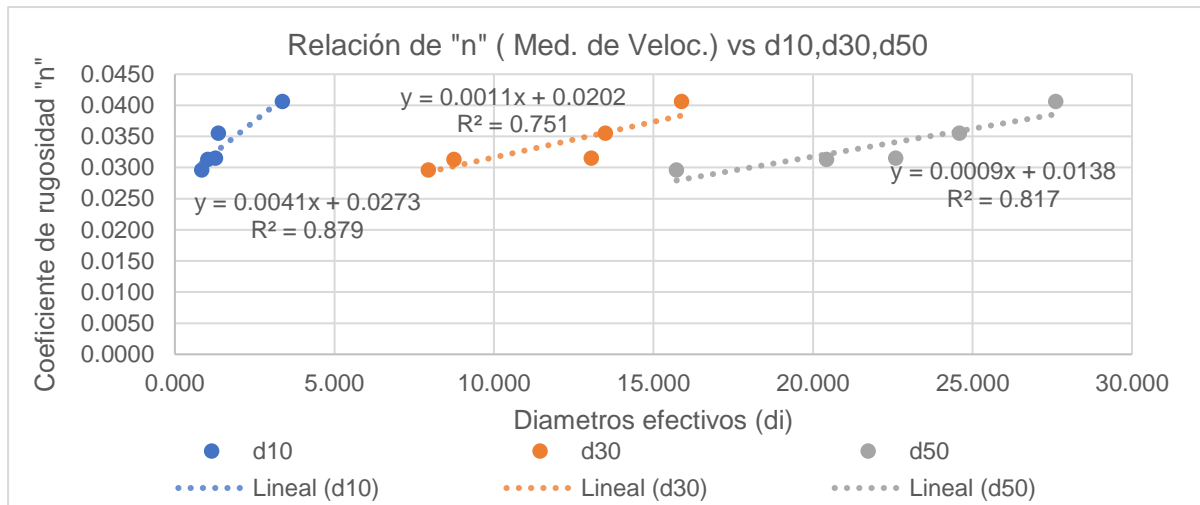
La **ecuación lineal** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de medición de velocidades y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 18** y **Figura 19**

La **Figura 18** muestra la correlación entre los coeficientes de rugosidad obtenidos mediante el método de medición de velocidades y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  del lecho fluvial del río Chilca. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) asociados a estos diámetros son 0.879, 0.751 y 0.817, respectivamente, lo que indica que el 87.90%, 75.10% y 81.70% de la variación en el coeficiente de rugosidad se explica por los diámetros  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la granulometría. El porcentaje restante, 12.10%, 24.90% y 18.30%, se atribuye a errores u otras variables no consideradas.

Dado que los valores de  $R$  se encuentran en el rango  $0.7 < |r| \leq 0.9$ , se puede concluir que existe una correlación lineal fuerte entre las variables. Además, el análisis estadístico arroja valores de  $t_c$  de 4.668, 3.008 y 3.66, en comparación con un  $t_t$  de 2.776, lo que indica que  $t_c > t_t$ . Por tanto, se puede afirmar que la correlación es significativa y es adecuado utilizar la ecuación de regresión lineal para describir esta relación.

**Figura 18**

Relación del coeficiente de rugosidad (Medición. de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  obtener ecuaciones lineales.

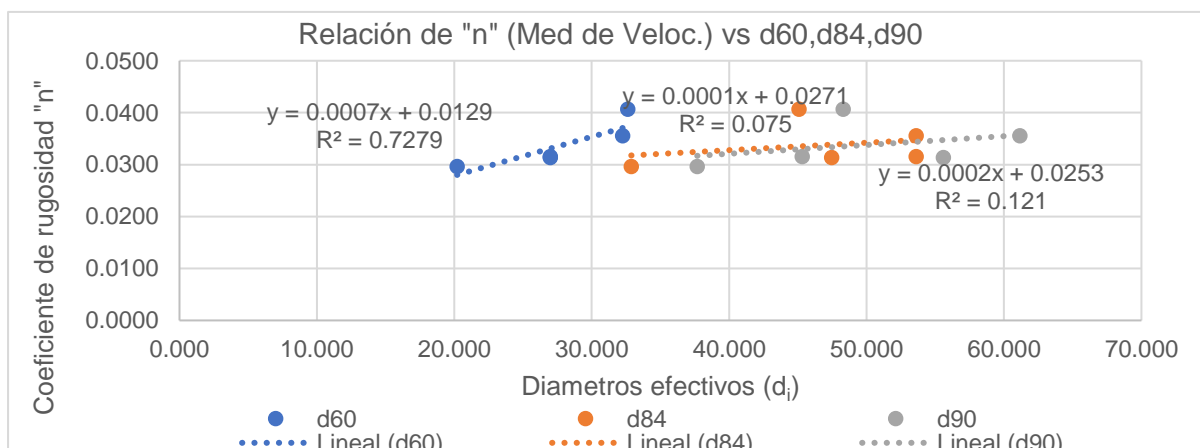


Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 19** se observa la correlación entre los coeficientes de rugosidad y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , de rugosidad obtenidos mediante el método de medición de velocidades se precisa el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.7279, 0.075, 0.121$  respectivamente, se aprecia que la correlación entre el diámetro efectivo  $d_{60}$  está en el rango de  $0.7 < |r| \leq 0.9$  y el  $t_c$  es 2.833 y el  $t_t$  es 2.776 por lo tanto posee una correlación lineal muy fuerte. No obstante, los diámetros efectivos  $d_{80}$  y  $d_{90}$  presentan coeficientes de determinación bajos, lo que surge una correlación lineal muy débil. En estos casos, los análisis estadísticos muestran que  $t_c$  es inferior a  $t_t$  lo que indica que no hay una correlación significativa. Por lo tanto, no es apropiado utilizar ecuaciones de regresión basadas en los diámetros  $d_{80}$  y  $d_{90}$ .

**Figura 19**

Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  obtener ecuaciones lineales.



Fuente: Elaboración propia

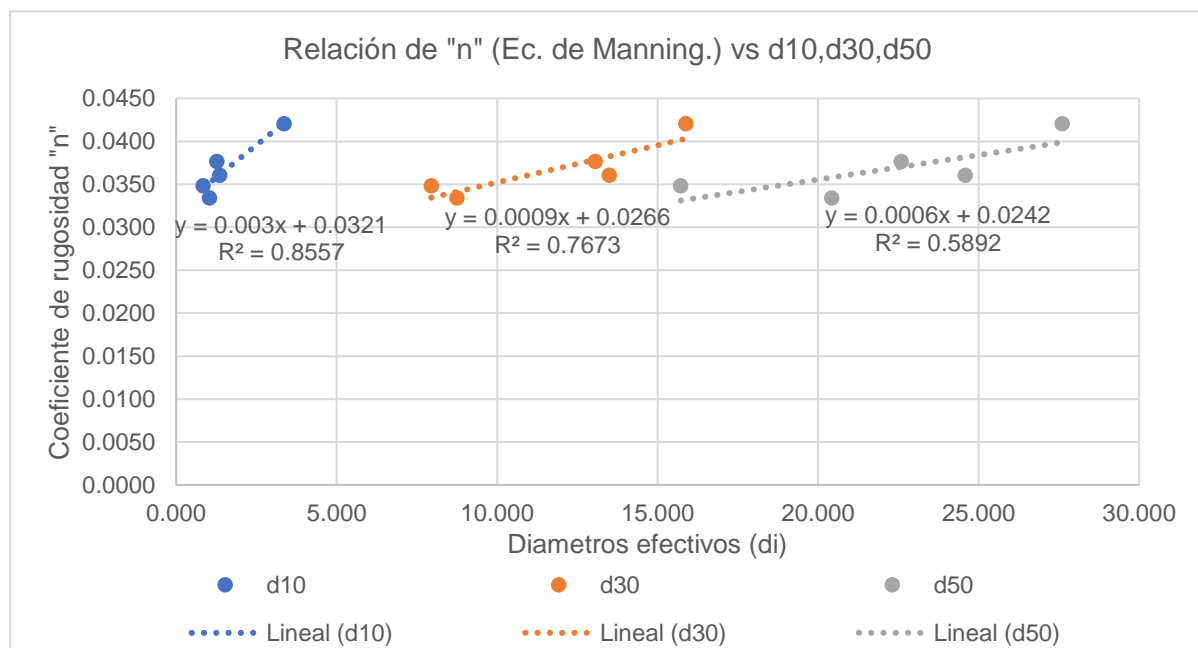
**La ecuación lineal** entre el coeficiente de rugosidad **n** calculado por el método de la ecuación de Manning y los diámetros efectivos (**d<sub>i</sub>**), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 20** y **Figura 21**.

La **Figura 20** presenta la correlación entre los coeficientes de rugosidad, calculados mediante la ecuación de Manning, y los diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>**. Los coeficientes de determinación **R<sup>2</sup>** obtenidos son 0.8557, 0.7673 y 0.5892, respectivamente. Esto indica que el 85.57%, 76.73% y 58.92% de la variación en el coeficiente de rugosidad puede explicarse por los diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>** mientras que el 14.43%, 23.27% y 41.08% restantes se deben a errores u otras variables no consideradas.

En función de los coeficientes de determinación y correlación, se observó que la relación entre el coeficiente de rugosidad y los diámetros **d<sub>10</sub>** y **d<sub>30</sub>** es de carácter lineal muy fuerte, mientras que para **d<sub>50</sub>**, la correlación es media. El análisis estadístico arroja valores del estadístico calculado (**t<sub>c</sub>**) de 4.218 para **d<sub>10</sub>**, 3.145 para **d<sub>30</sub>** y 2.074 para **d<sub>50</sub>** comparados con el valor del estadístico tabular (**t<sub>t</sub>**) de 2.776. Esto implica que **t<sub>c</sub>** es mayor que **t<sub>t</sub>** para **d<sub>10</sub>** y **d<sub>30</sub>**, lo que confirma una correlación significativa para estos diámetros. Sin embargo, para **d<sub>50</sub>** **t<sub>c</sub>** es menor que **t<sub>t</sub>**, lo que indica que no existe correlación significativa. En conclusión, es válido emplear las ecuaciones de regresión lineal para los diámetros efectivos **d<sub>10</sub>** y **d<sub>30</sub>**, pero no para **d<sub>50</sub>**.

**Figura 20**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>** obtener ecuaciones lineales.*

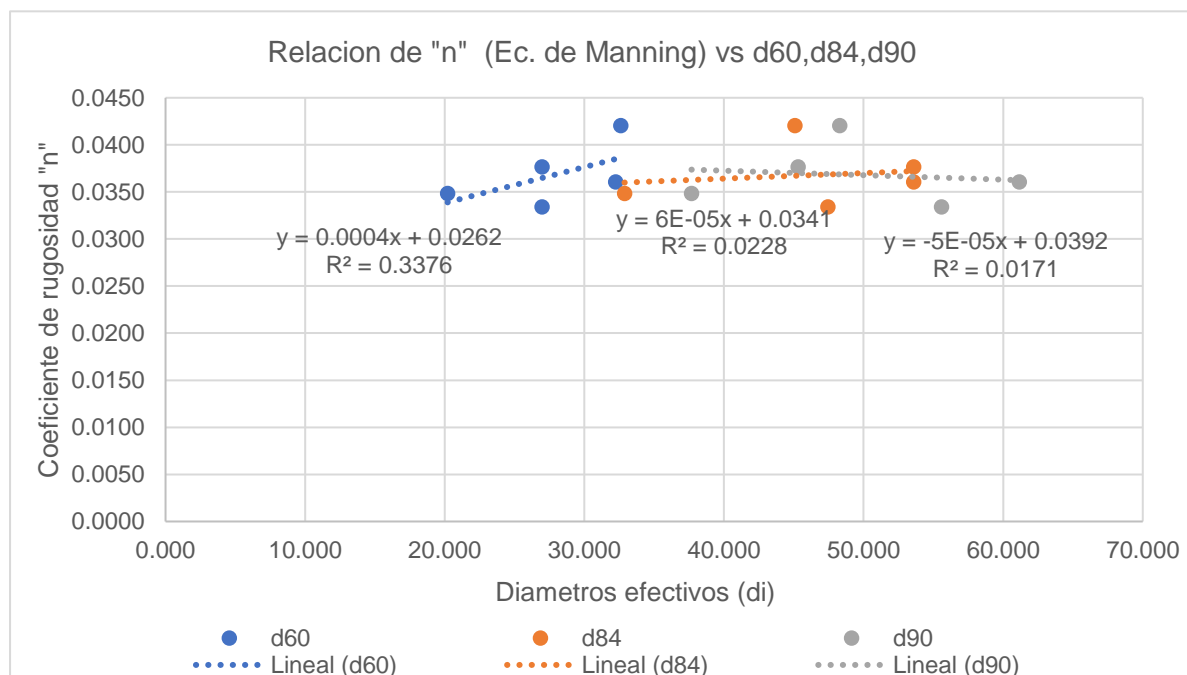


Fuente: Elaboración Propia

En la **Figura 21** se aprecia la relación entre los coeficientes de rugosidad calculados por la ecuación de Manning y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se establece el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.3376, 0.0228$  y  $0.0171$  respectivamente donde se interpreta que a partir del coeficiente de correlación existe una correlación lineal muy débil y no se puede hacer uso de las ecuaciones de regresión lineal con los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ .

**Figura 21**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  obtener ecuaciones lineales.*



Fuente: Elaboración propia

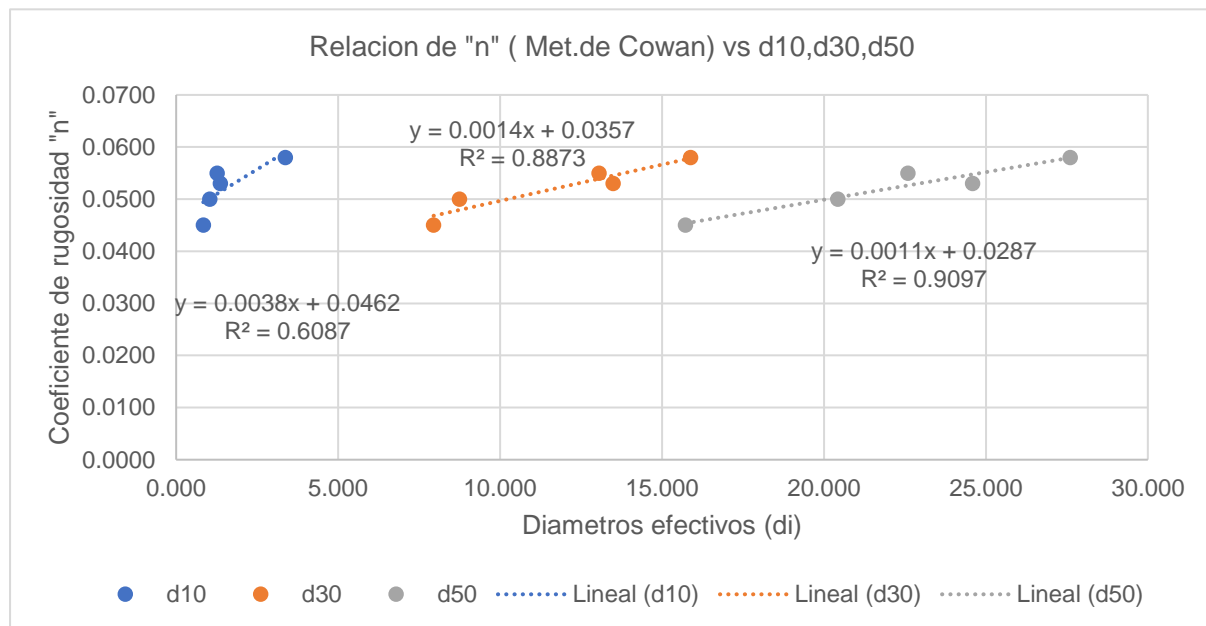
**La ecuación lineal** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 22** y **Figura 23**.

La **Figura 22** muestra la relación entre el coeficiente de rugosidad, calculado a través del método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ . Los coeficientes de determinación obtenidos fueron se establece el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.6087$ ,  $0.8873$  y  $0.9097$  respectivamente lo que indica que el 60.87%, 88.73% y el 90.97% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad se atribuye a los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la granulometría mientras que el 39.13 %, 11.27% y 9.03% restantes se den a errores y otras variables no consideradas. Teniendo en cuenta el Coeficiente de determinación y coeficiente de correlación; se observa una correlación lineal muy fuerte entre el coeficiente de rugosidad y los diámetros  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ .

De acuerdo a la evaluación estadística los valores del estadístico calculado ( $t_c$ ) son 2.160, 4.860 y 5.498 respectivamente para los diámetros mencionados mientras que el valor tabular es 2.776. Dado que  $t_c$  es mayor en dos casos con el  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se concluye que existe una correlación significativa, lo que valida el uso de las dos ecuaciones de regresión lineal en función al  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para la estimación del coeficiente de rugosidad.

### Figura 22

Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  obtener ecuaciones lineales.



Fuente: Elaboración propia

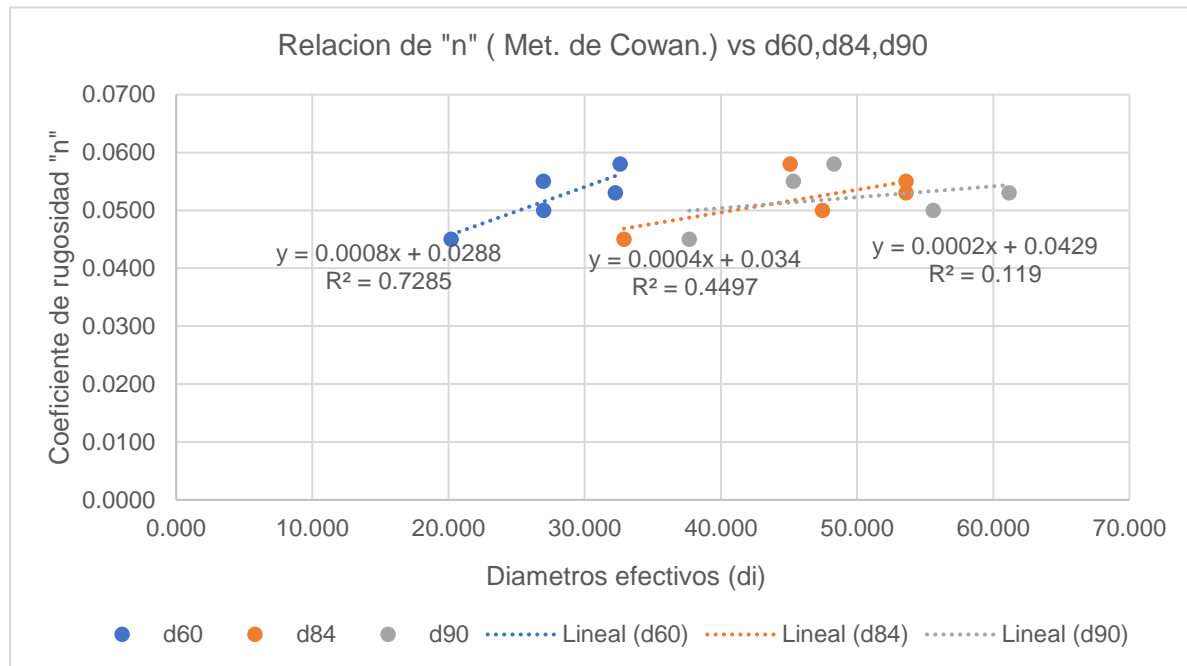
En la **Figura 23** se observa la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad calculado mediante el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ . Los coeficientes de determinación obtenidos son  $R^2 = 0.7285$ ,  $0.4497$  y  $0.119$  respectivamente donde se interpreta que el 72.85%, 44.97% y el 11.90% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad, atribuye al diámetro efectivo  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la gradación y el 27.15 %, 55.03% y 88.10% restantes es debido a errores y otros factores que no se consideran. Analizando el coeficiente de determinación y la correlación, se identifica que el coeficiente de rugosidad presenta una correlación lineal muy fuerte con el diámetro efectivo  $d_{60}$ , pero con los diámetros  $d_{84}$  y  $d_{90}$  la correlación es débil y muy débil, respectivamente.

La evaluación estadística arrojó valores del estadístico calculado  $t_c$  de 2.837, 1.566 y 0.637 para los diámetros  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , en comparación con el valor tabular de 2.776. Esto indica que existe una correlación significativa solo para  $d_{60}$  mientras que para  $d_{84}$  y  $d_{90}$  la

correlación es insuficiente. Por lo tanto, se concluye que la ecuación de regresión lineal solo puede ser utilizada para  $d_{60}$ .

### Figura 23

Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  obtener ecuaciones lineales.



Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.6.2. Regresión no lineal simple

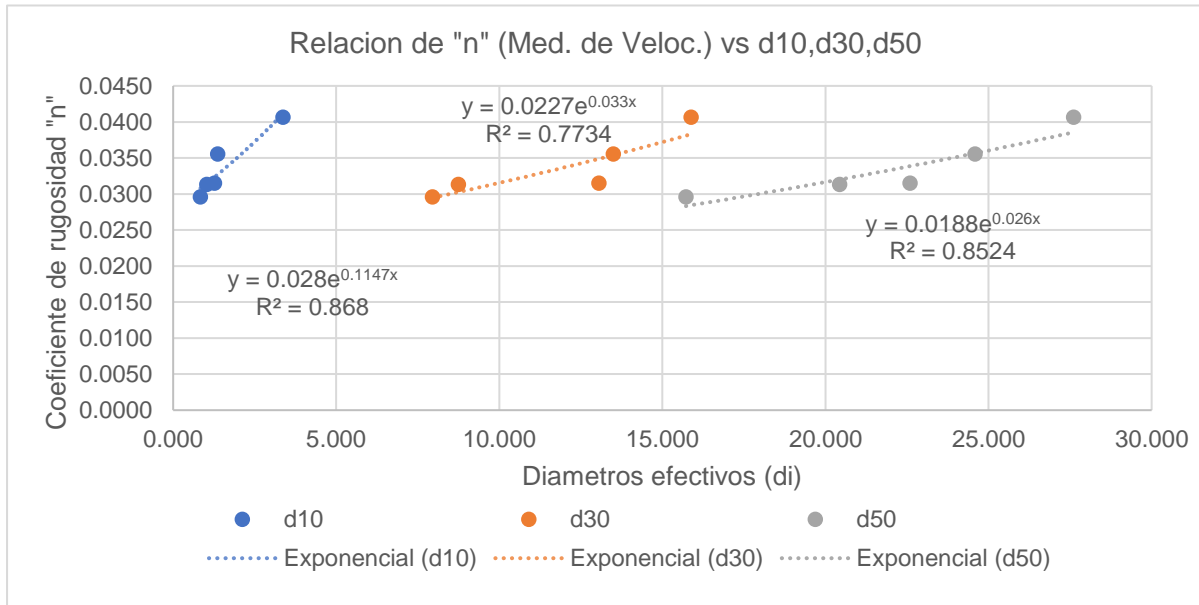
La ecuación Exponencial entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de medición de velocidades y diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 24** y **Figura 25**.

En las **Figura 24** y **Figura 25** se percibe la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado mediante la Medición de velocidades y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  se aprecia el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.868$ ,  $0.7734$ ,  $0.8524$ ,  $0.755$ ,  $0.0707$  y  $0.1159$  respectivamente lo que significa que el 86.80%, 77.34%, 85.24%, 75.5%, 7.07% y 11.59% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad, se atribuye al diámetro efectivo  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la gradación y el 13.2%, 22.66%, 14.76%, 24.5%, 92.93% y 88.41% restantes corresponde a errores y otros factores. La evaluación estadística arroja valores del estadístico ( $t_c$ ) igual a 4.442, 3.200, 4.126, 3.041, 0.478, 0.627 respectivamente y el  $t_t$  es 2.776. Esto indica que solo las ecuaciones con correlación lineal muy fuerte, es decir, aquellas que involucran los diámetros  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{50}$  y  $d_{60}$ , son

estadísticamente significativas, y, por tanto, solo las ecuaciones exponenciales que utilizan estos diámetros pueden emplearse.

**Figura 24**

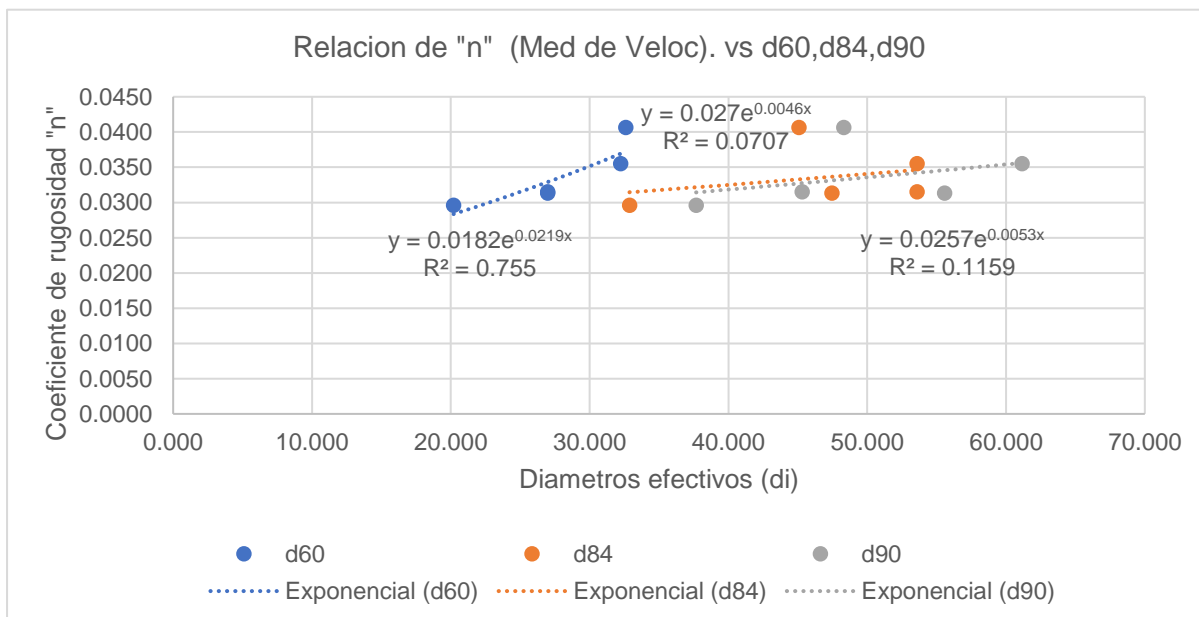
*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones exponenciales.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 25**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones exponenciales.*



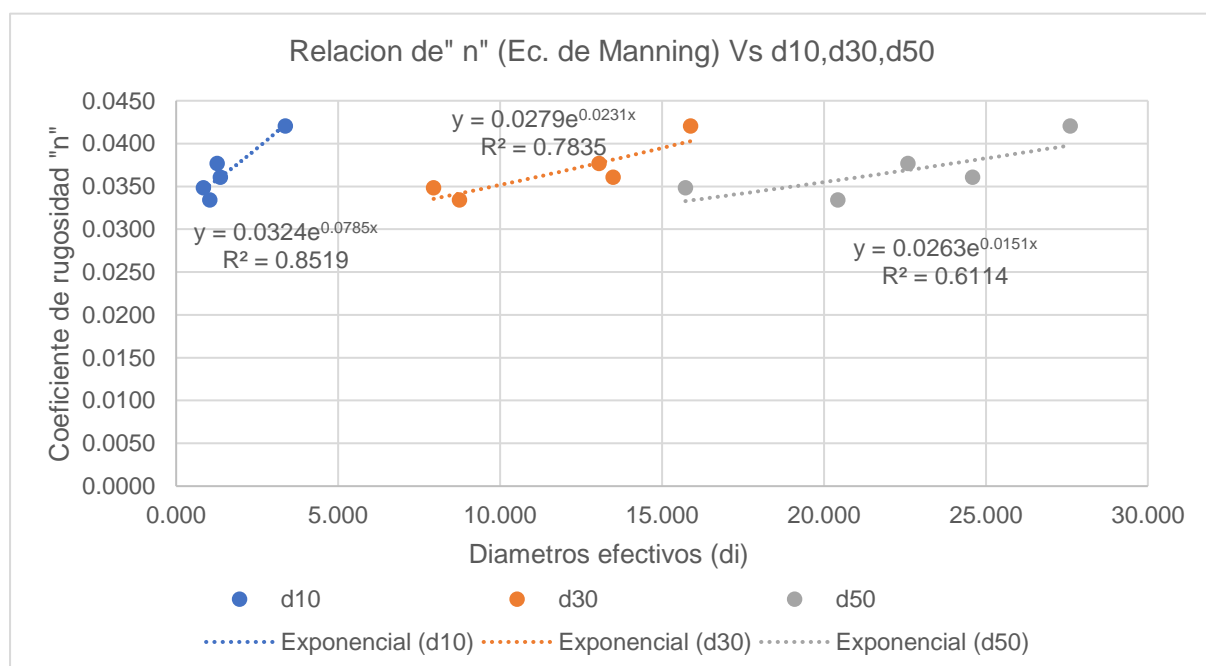
Fuente: Elaboración Propia

La **ecuación Exponencial** entre el coeficiente de rugosidad **n** calculado por la ecuación de Manning y los diámetros efectivos (**d<sub>i</sub>**), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 26** y **Figura 27**.

En la **Figura 26** se aprecia la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por la ecuación de Manning y los diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>**, se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.8519, 0.7835$  y  $0.6114$  respectivamente donde se interpreta que el 85.19%, 78.35% y 61.14% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad, es en relación al diámetro efectivo **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>** de la granulometría y el 14.81%, 21.65% y 38.86% restantes es por errores o factores externos. Poseen una correlación lineal fuerte. De acuerdo a la evaluación estadística el  $t_c$  es igual a 4.154, 3.295 y 2.173 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros **d<sub>10</sub>** y **d<sub>30</sub>** entonces se acepta solo las ecuaciones exponenciales que consideran el diámetro **d<sub>10</sub>** y **d<sub>30</sub>**.

### Figura 26

Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>** para obtener ecuaciones exponenciales.



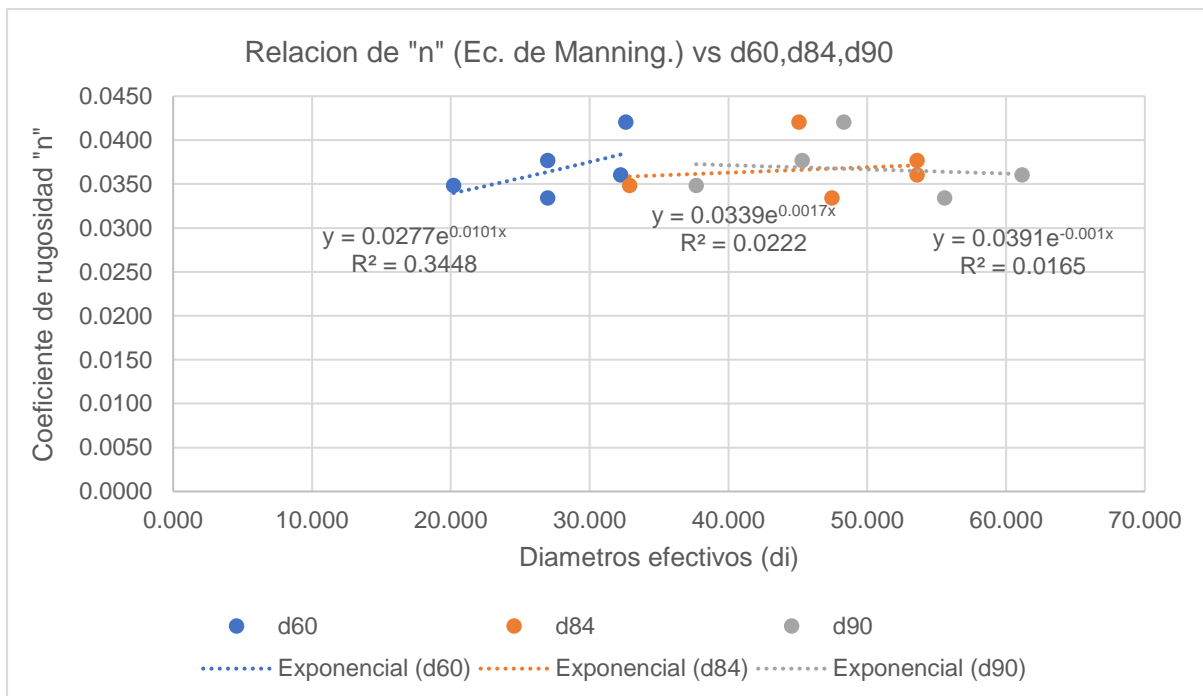
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 27** se observa la correlación que existe entre los coeficientes de rugosidad calculado mediante la ecuación de Manning y los diámetros efectivos **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>**, se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.3448, 0.0222$  y  $0.0165$  respectivamente donde se interpreta que el 34.48%, 2.22% y 1.65% de la variación del coeficiente de rugosidad, es explicada por el diámetro efectivo **d<sub>10</sub>**, **d<sub>30</sub>** y **d<sub>50</sub>** de la granulometría.

Poseen una relación lineal muy débil. De acuerdo a la evaluación estadística el  $t_c$  es menor que  $t_t=2.776$  entonces es imposible aceptar ecuaciones exponenciales con relación a los diámetros  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ .

**Figura 27**

Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones exponenciales.



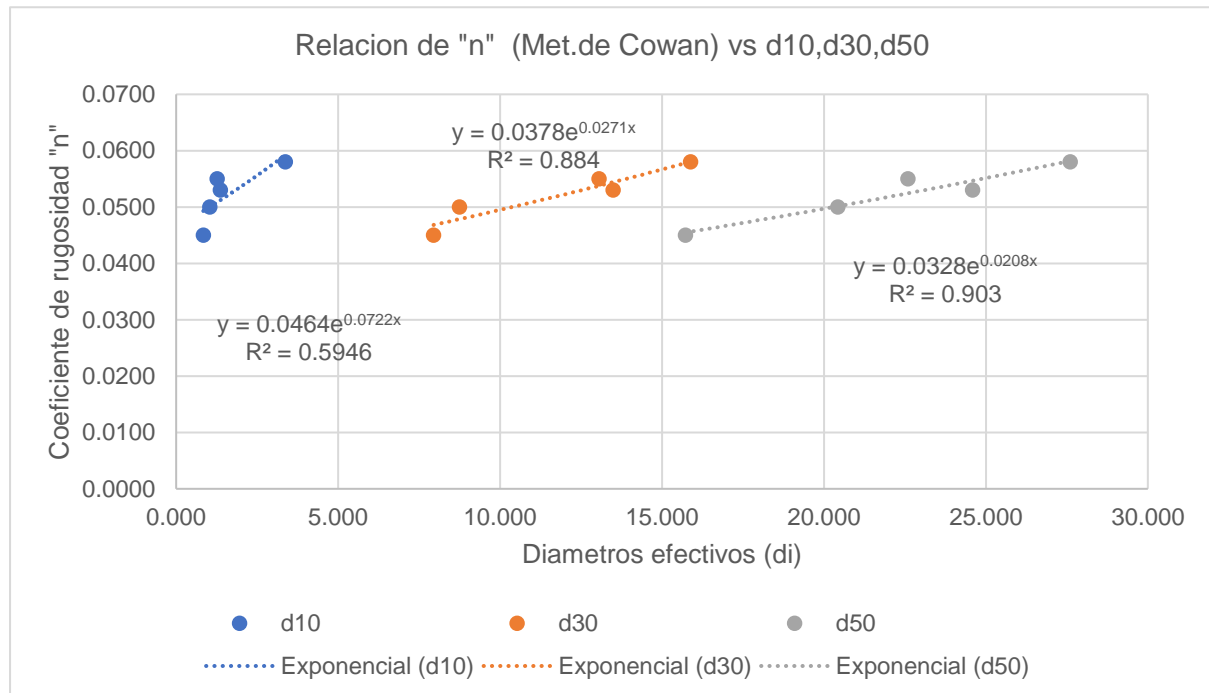
Fuente: Elaboración propia

**La ecuación Exponencial** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 28** y **Figura 29**

En la **Figura 28** se aprecia la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.5946$ ,  $0.884$  y  $0.903$  respectivamente donde se interpreta que el 59.46%, 88.40% y 90.3% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad, es referida por el diámetro efectivo  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la gradación y el 40.54 %, 11.60 % y 9.7% restantes es debido a los errores y otras variables no consideradas. Poseen una relación lineal fuerte. Según la evaluación estadística el  $t_c$  es igual a 2.098, 4.781 y 5.285 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{30}$  y  $d_{50}$  y menor para el diámetro  $d_{10}$ , entonces se acepta las ecuaciones exponenciales que consideran solo los diámetros efectivos  $d_{30}$  y  $d_{50}$ .

**Figura 28**

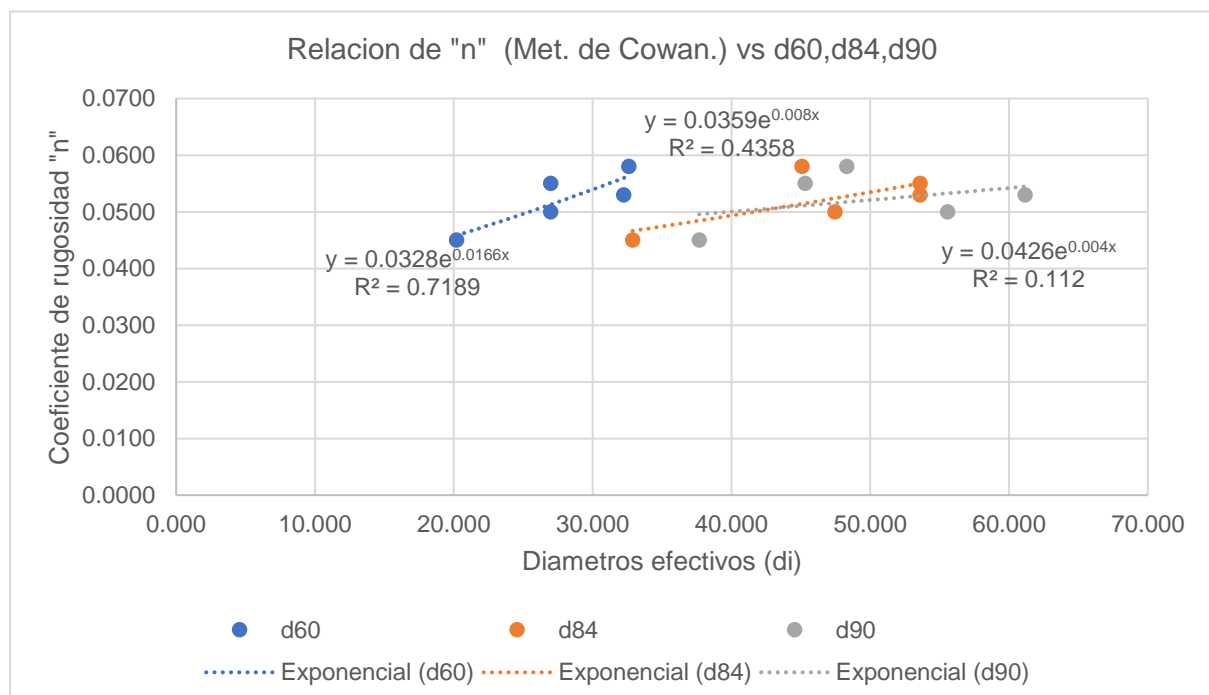
Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones exponenciales.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 29**

Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones exponenciales.



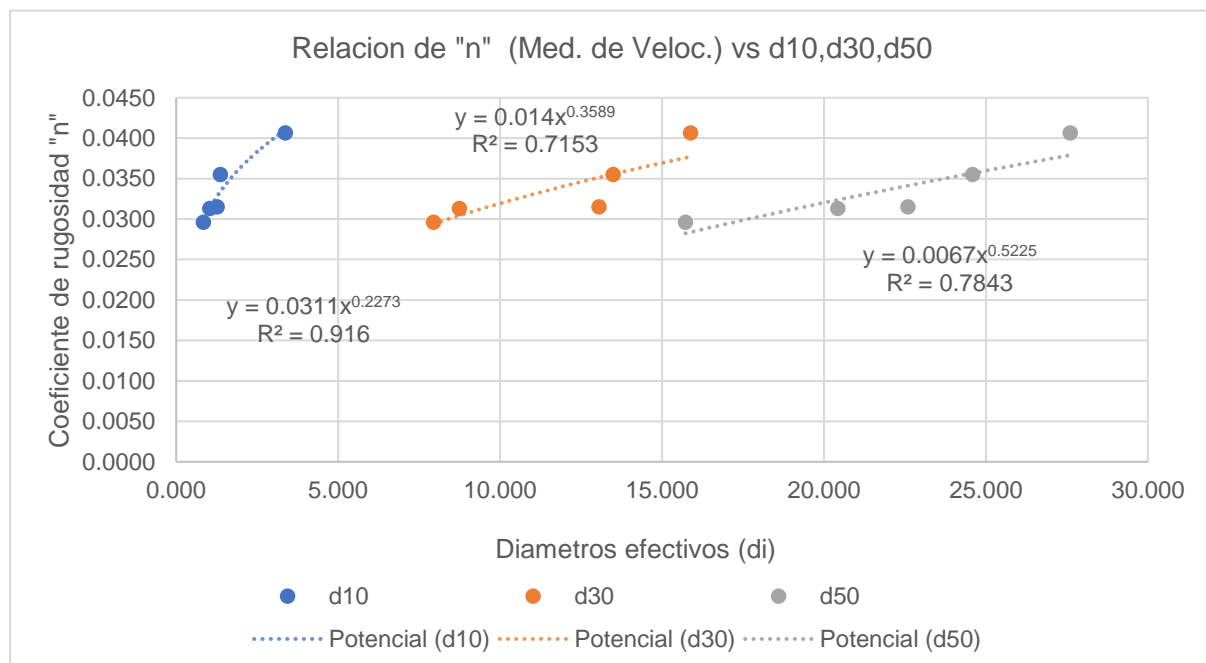
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 29** se observa la relación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.7189$  para el diámetro  $d_{60}$ ,  $0.4358$  para  $d_{84}$  y  $0.112$  para  $d_{90}$  lo que indica que el 71.89%, 43.58% y 11.20% de la alteración del coeficiente de rugosidad, es influenciada por el diámetro efectivo  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la gradación y el 28.11%, 56.42% y 88.8% restantes es debido a errores o diferentes factores. Respecto al  $d_{60}$  muestras una correlación lineal fuerte, mientras que con  $d_{84}$  y  $d_{90}$  la correlación es débil. Por lo tanto, se considera adecuada la ecuación exponencial para el diámetro efectivo  $d_{60}$ , pero no se considera ecuaciones exponenciales con diámetros efectivos  $d_{84}$  y  $d_{90}$ .

**La ecuación Potencial** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de Medición de velocidades y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 30** y **Figura 31**.

**Figura 30**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones potenciales.*



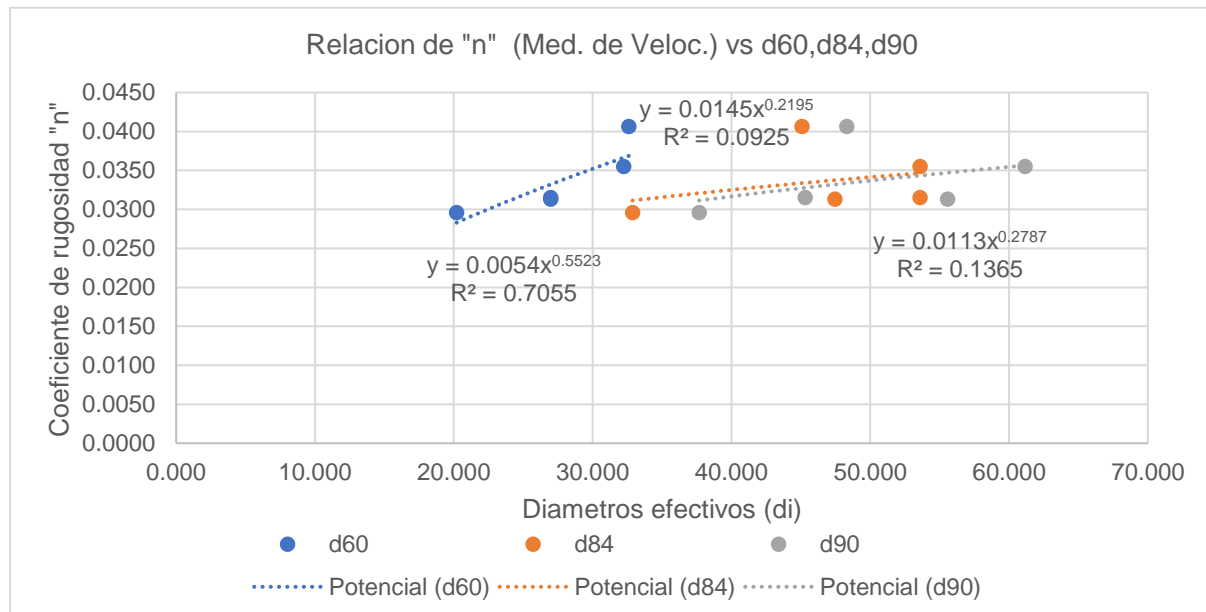
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 30** se observa la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método de medición de velocidades y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.916$ ,  $0.7153$  y  $0.7843$  respectivamente lo que indica que el 91.60%, 71.53% y 78.43% de la alteración del coeficiente de rugosidad atribuye a la influencia de los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la granulometría. El porcentaje ( 8.4%, 28.47% y 21.57% ) se atribuye a errores y otros factores. Todos los diámetros presentan

una correlación lineal fuerte. En la evaluación estadística, se calcularon valores  $t_c$  como 5.720, 2.745 y 3.303 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, esto indica que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$ , y  $d_{50}$ , lo que permite aceptar las ecuaciones potenciales que involucran solo diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{50}$ .

**Figura 31**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones potenciales.*



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 31** es posible observar la relación entre los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  y los coeficientes de rugosidad determinados mediante el método de medición de la velocidad. Según el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,7055$ ,  $0,0925$  y  $0,1365$ , respectivamente, los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la gradación explican el 70,55%, el 9,25% y el 13,65% de la variación del coeficiente de rugosidad. Mientras que la relación entre los diámetros  $d_{84}$  y  $d_{90}$  es moderada, el diámetro  $d_{60}$  presenta una fuerte correlación lineal. En consecuencia, no resulta práctico considerar posibles ecuaciones en las que intervengan los diámetros efectivos  $d_{84}$  y  $d_{90}$ .

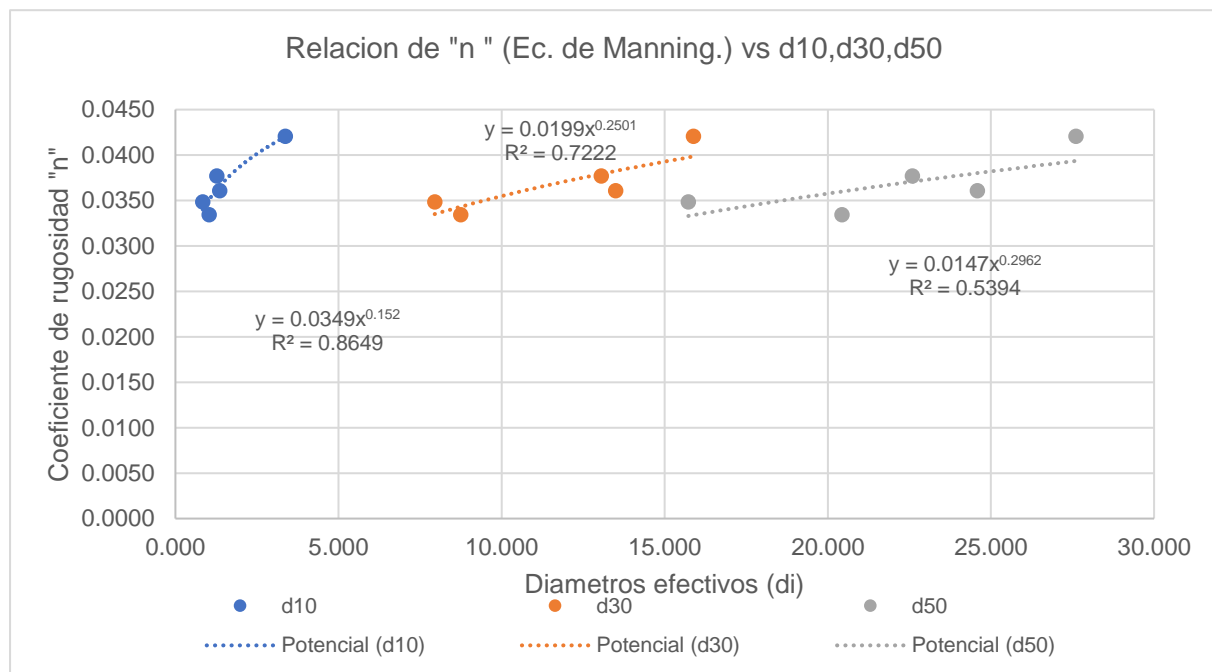
**La ecuación Potencial** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado mediante ecuación de Manning y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 32** y **Figura 33**.

En la **Figura 32** se presenta la correlación entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método de la ecuación de Manning y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.8649$ ,  $0.7222$  y  $0.5394$  respectivamente, lo que indica que

el 86.49%,72.22 % y 53.94% de la alteración del coeficiente de rugosidad esta influenciada por los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la gradación mientras que 13.51 %,27.78 % y 46.06% restantes se atribuye a diferentes factores. Los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{30}$ , muestran una correlación lineal fuerte, en contraste, con el diámetro  $d_{50}$  posee una correlación débil. De acuerdo a la evaluación estadística el  $t_c$  es igual a 4.382,2.791 y 1.874 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{30}$ , pero menor para el diámetro  $d_{50}$ , entonces se acepta las ecuaciones potenciales que consideran solo los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{30}$ .

**Figura 32**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones potenciales.*

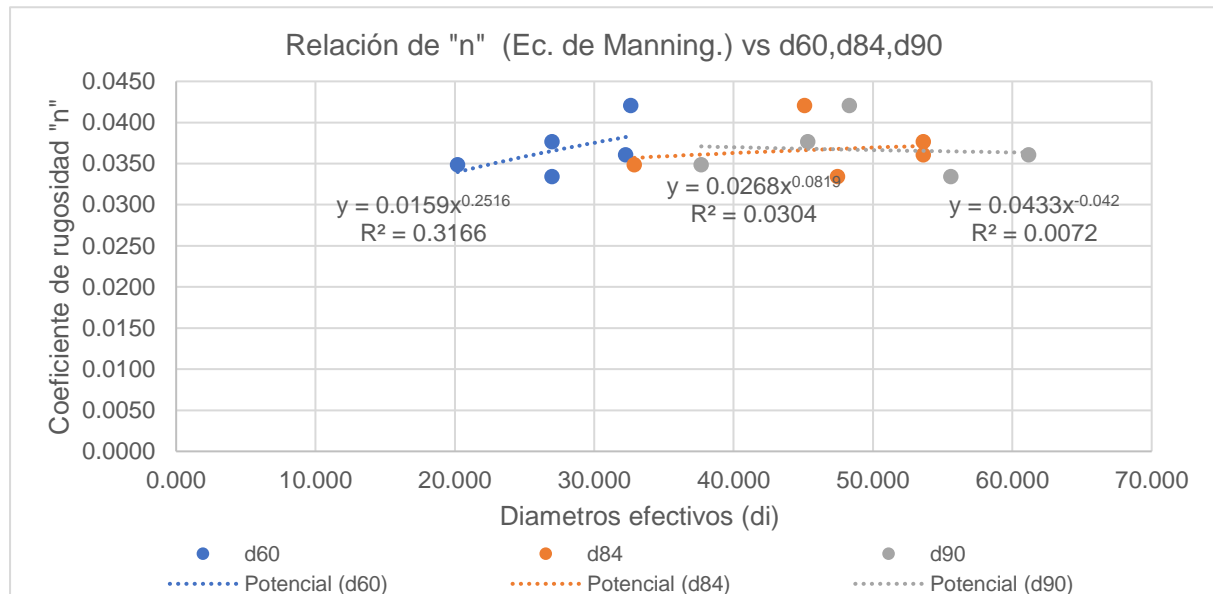


Fuente: Elaboración Propia

En la **Figura 33** se percibe la correlación que existe entre los coeficientes de rugosidad calculado por la ecuación de Manning y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.3166, 0.0304$  y  $0.0072$  respectivamente donde se interpreta que el 31.66 %,3.04 % y 0.72% de la alteración del coeficiente de rugosidad, es influenciada por el diámetro efectivo  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la granulometría y se concluye que el coeficiente de correlación se encuentra en el rango de correlación débil y muy débil, por ello no es posible considerar ecuaciones potenciales con los diámetros mencionados.

**Figura 33**

Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuación de Manning) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones potenciales.

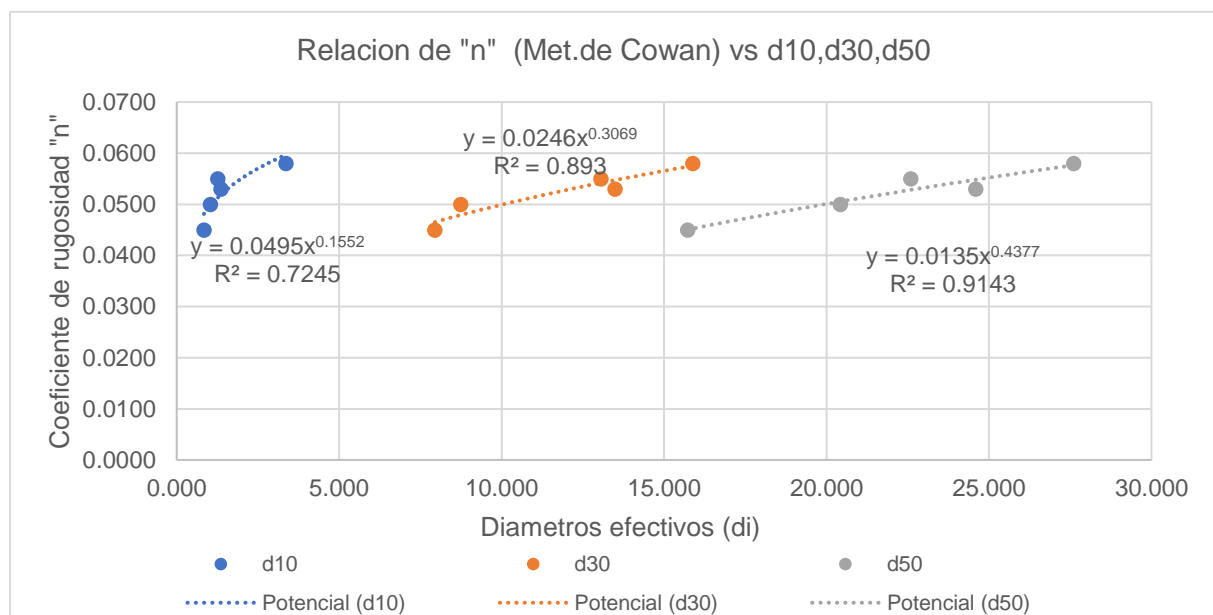


Fuente: Elaboración propia

La ecuación Potencial entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 34** y **Figura 35**.

**Figura 34**

Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones potenciales.



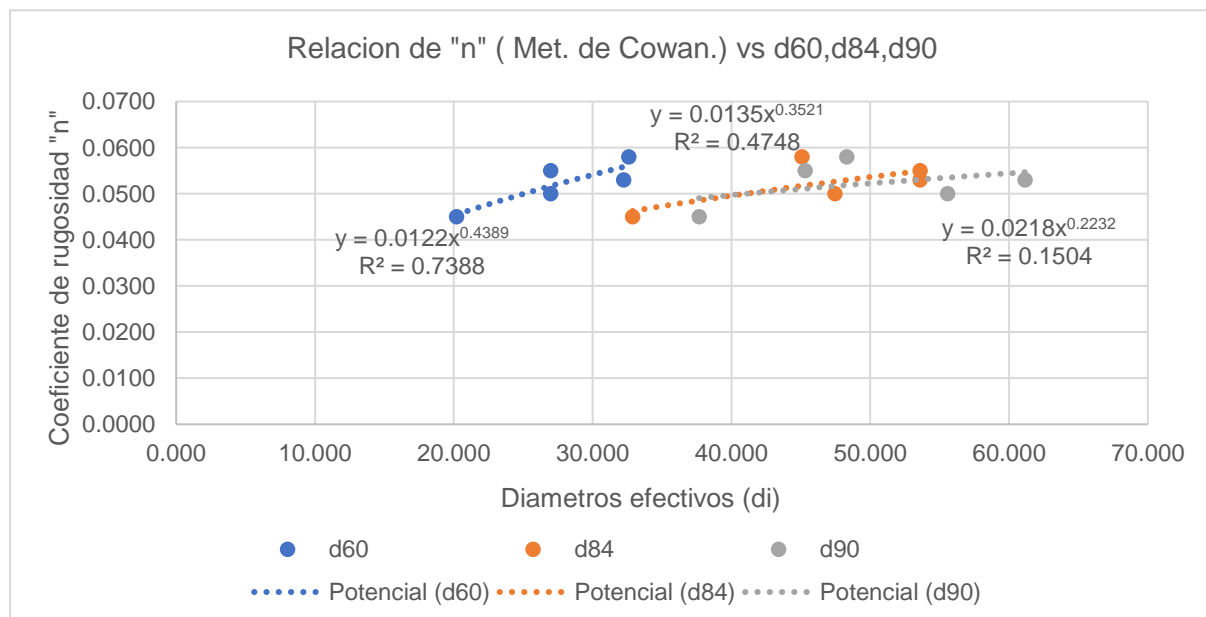
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 34** Los coeficientes de determinación  $R^2=0,7246,0,893$  y  $0,9143$ , respectivamente, muestran la correlación entre el coeficiente de rugosidad determinado por el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ . Esto indica que el 72,46%, 89,30% y 91,43% de la variación del coeficiente de rugosidad está directamente relacionada con los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la gradación, y el 27,54%, 10,893 y 0,9143, respectivamente. Los diámetros efectivos de la gradación,  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , explican el 46%, 89% y 91,43% de la variación del coeficiente de rugosidad, mientras que los errores y otros factores no tenidos en cuenta explican el 27,54%, 10,70% y 8,57% restante. Existe una relación lineal significativa entre  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  con respecto al diámetro efectivo.

Según la evaluación estadística el  $t_c$  es igual a 2.809,5.004 y 5.657 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se concluye que existe correlación significativa por lo tanto se acepta las ecuaciones potenciales.

### Figura 35

Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones potenciales.



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 35** se observa la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.7388,0.4748$  y  $0.1504$  respectivamente donde se interpreta que el 73.88 %,47.48 % y 15.04% representa la influencia de los diámetros  $d_{60}, d_{84}$  y  $d_{90}$  de la granulometría , lo que significa que el coeficiente de correlación para el diámetro  $d_{60}$  se encuentra en el parámetro de correlación lineal fuerte sin embargo para los diámetros

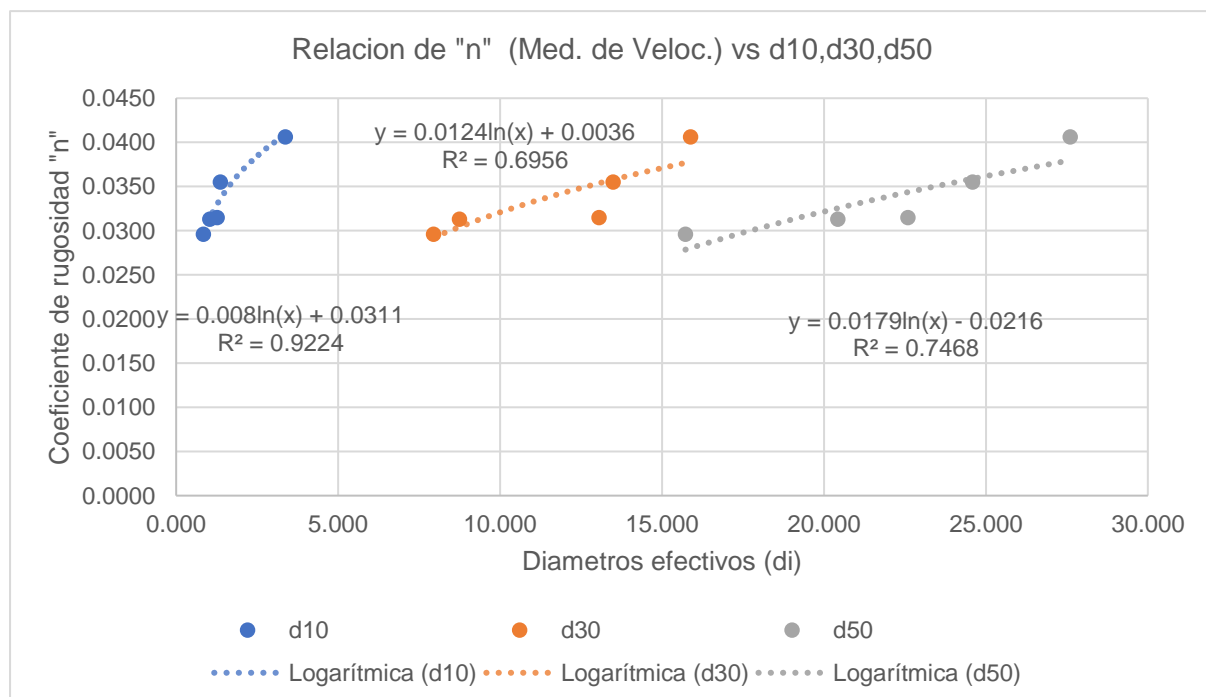
$d_{84}$  y  $d_{90}$  está en el rango de correlación débil, por lo tanto solo se considera la ecuación que está en función del diámetro  $d_{60}$ .

**La ecuación logarítmica** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de medición de velocidades y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 36** y Figura.

En la **Figura 36** se observa la correlación que existe entre los coeficiente de rugosidad calculado por el método teórico considerando velocidades medidas y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.9224, 0.6956$  y  $0.7468$  respectivamente donde se interpreta que el 92.24 %, 69.56 % y 74.68 % representa y se interpreta que el cambio en el coeficiente de rugosidad está directamente relacionado con el diámetro efectivo  $d_{10}, d_{30}$  y  $d_{50}$  de la gradación y el 7.76 %, 30.44 % y 25.32 % restantes es debido a diferentes factores Respecto al diámetro efectivo  $d_{10}, d_{30}$  y  $d_{50}$  muestran una relación lineal sólida. De acuerdo con el estudio estadístico  $t_c$  es igual a 5.972 , 2.618 y 2.975 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es solo es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{50}$ , Se concluye que existe correlación significativa solo para ecuaciones logarítmicas en función al diámetro  $d_{10}$  y  $d_{50}$ .

**Figura 36**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.*

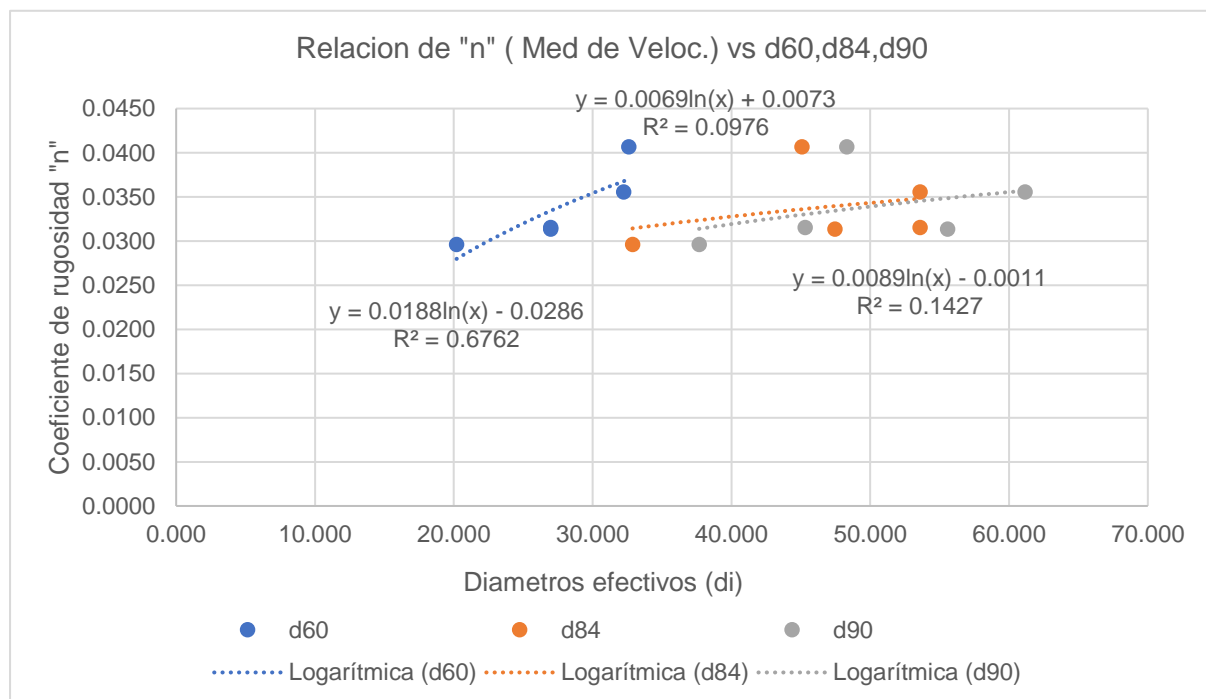


Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 37** se aprecia la relación que existe usando coeficientes de rugosidad calculado por el método de medición de velocidades y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.6762, 0.0976$  y  $0.1427$  respectivamente donde se interpreta que el 67.62 %, 9.76 % y 14.27% de la variación del coeficiente de rugosidad, es explicada por el diámetro efectivo  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  de la granulometría. Según el análisis estadístico el  $t_c$  es igual a 2.503, 0.570 y 0.707 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$ . Se determina que la correlación no es significativa, por lo que no se puede establecer una relación entre las variables por ello no es posible usar las ecuaciones logarítmicas en función a los diámetros mencionados

**Figura 37**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Medición de velocidades) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.*



Fuente: Elaboración propia

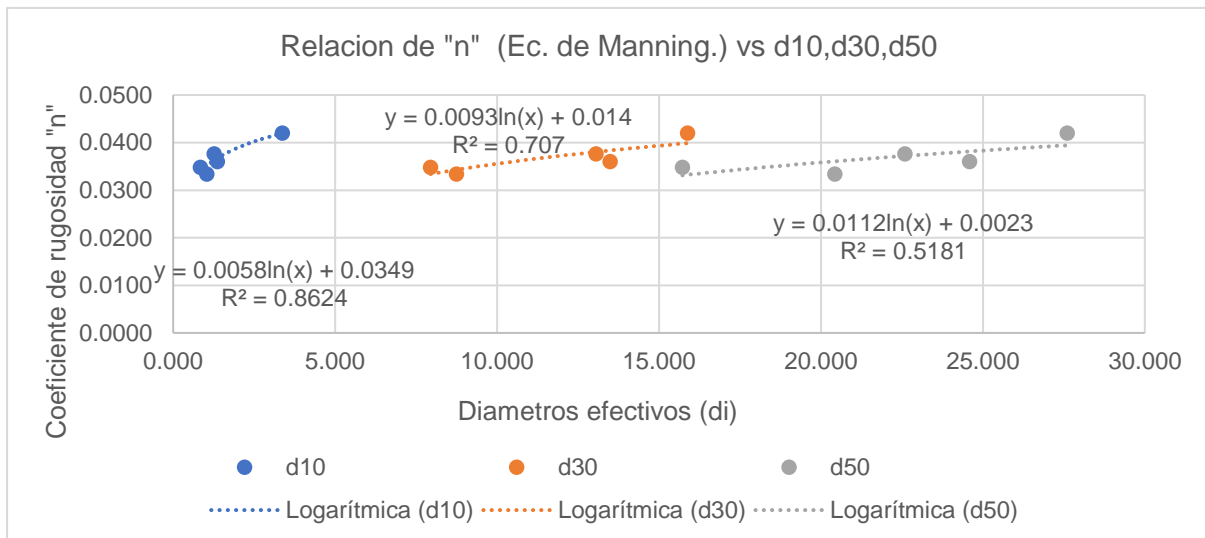
**La ecuación logarítmica** que establece n relación del coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por la ecuación de Manning y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico se aprecia en la **Figura 38** y **Figura 39**.

En la **Figura 38** se observa la correlación que existe entre los coeficientes de rugosidad calculado por la ecuación de Manning los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.8624, 0.707$  y  $0.5181$  respectivamente donde se interpreta que el 86.24 %, 70.7 % y 51.81 % varía en función al diámetro efectivo  $d_{10}, d_{30}$  y  $d_{50}$  de la granulometría y el 13.76 %, 29.30 % y 48.19 % restantes establece por influencia de

otras variables. Respecto al diámetro efectivo  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  poseen una correlación lineal fuerte. Según el análisis estadístico el  $t_c$  es igual a 4.336 ,2.69 y 1.796 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{30}$ , pero para  $d_{50}$ , es menor. Se concluye que existe relación de significancia alta con los diámetros efectivos  $d_{10}$  y  $d_{30}$  por lo tanto solo se acepta las ecuaciones logarítmicas considerando los diámetros mencionados  $d_{10}$  y  $d_{30}$ .

**Figura 38**

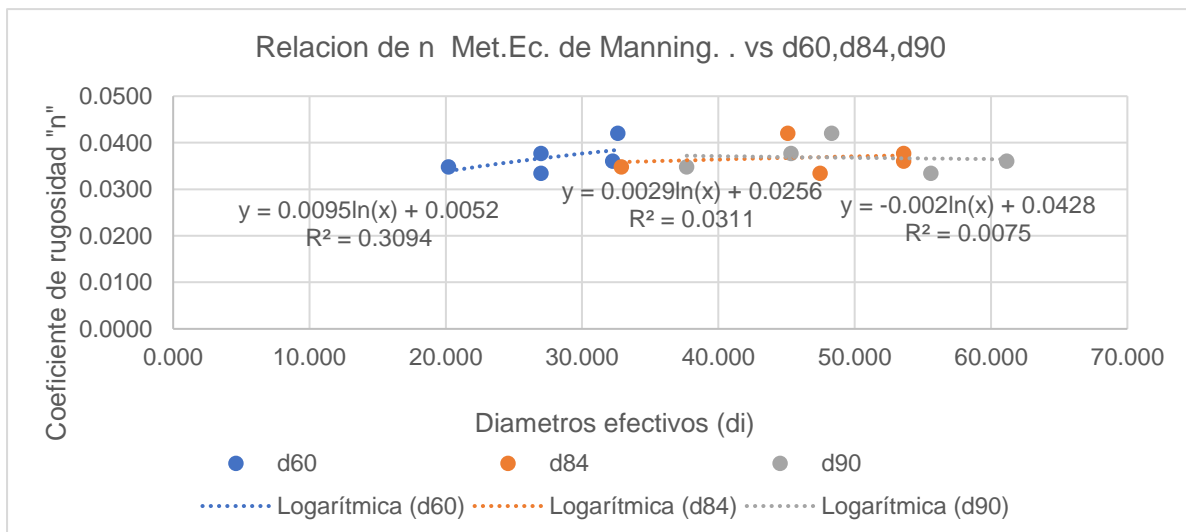
Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuacion de Manning) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 39**

Relación del coeficiente de rugosidad (Ecuacion de Manning) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.



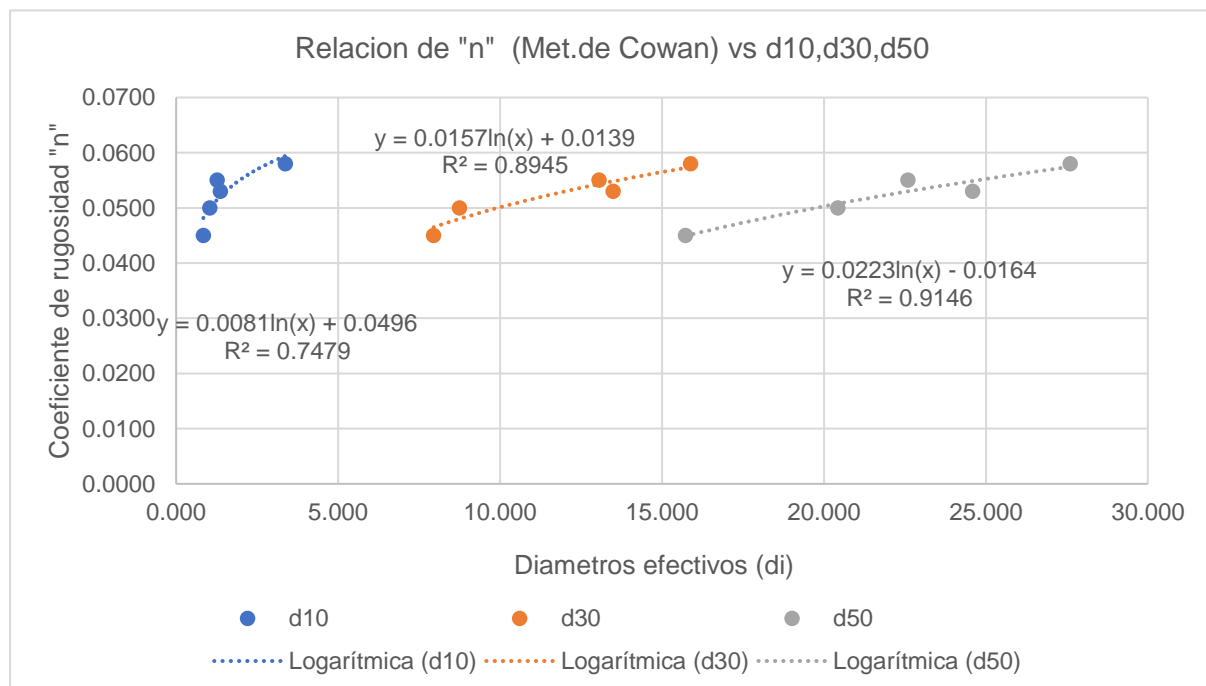
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 39** se aprecia la asociación del coeficiente de rugosidad calculado por el método de la ecuación de Manning y diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.3094, 0.0311$  y  $0.0075$  respectivamente donde se interpreta que el 30.94 %, 3.11 % y 0.75 % la relación entre el diámetro efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{50}$  y el coeficiente de rugosidad explica la mayor parte de su variación. Lo que significa que el coeficiente de correlación está en el rango de correlación débil, por lo tanto, no se considera ninguna ecuación logarítmica en función a los diámetros mencionados.

**La ecuación logarítmica** entre el coeficiente de rugosidad  $n$  calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos ( $d_i$ ), del análisis granulométrico muestra en la **Figura 40** y **Figura 41**.

**Figura 40**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.*



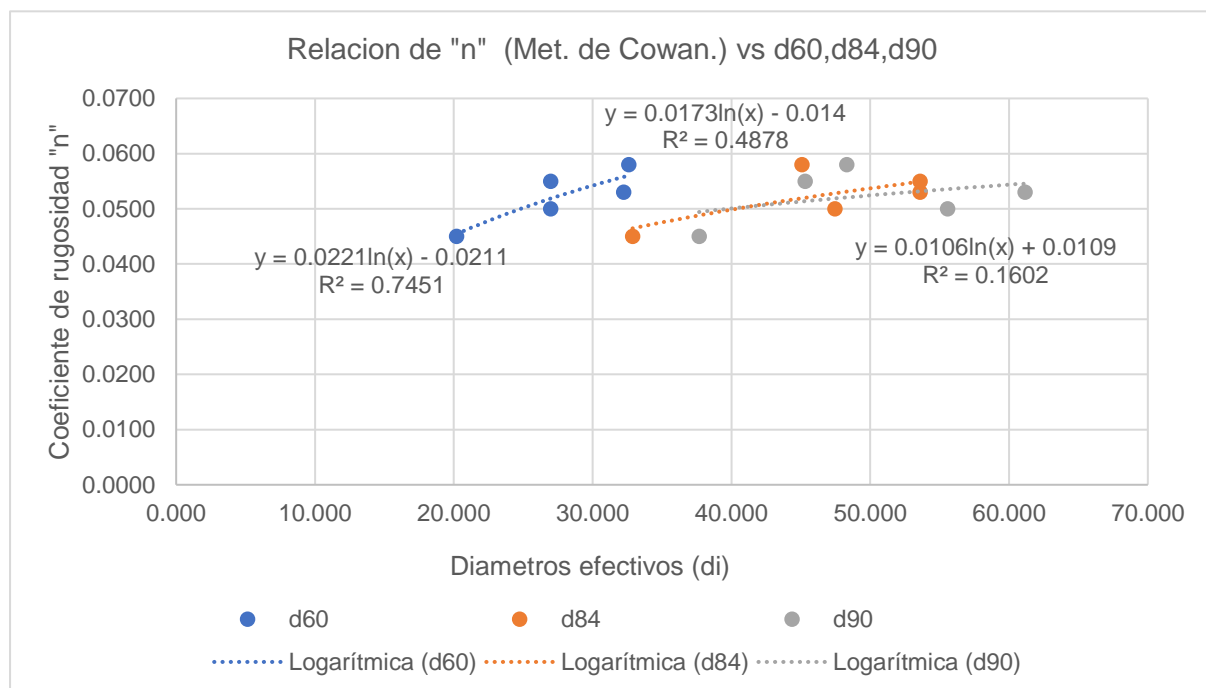
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 40** se observa la relación que existe entre los coeficientes de rugosidad calculado por el método de Cowan los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.7479, 0.8945$  y  $0.9146$  respectivamente donde se interpreta que el 74.79 %, 89.45% y 91.46 % la variabilidad del coeficiente de rugosidad está mayormente influenciada por el diámetro efectivo.  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  de la gradación y el 25.21 %, 10.55 % y 8.54 % restantes puede atribuirse tanto a errores como a otras variables no incluidas en el análisis. Respecto al diámetro efectivo  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  y  $d_{50}$  poseen una asociación

lineal fuerte. Según la evaluación estadística el  $t_c$  es igual a 2.983 ,5.043 y 5.668 respectivamente y  $t_t$  es 2.776, eso quiere decir que el  $t_c$  es mayor que el  $t_t$  para los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ , y  $d_{50}$ . Se concluye que existe correlación significativa con los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ , y  $d_{50}$  por lo tanto se acepta las ecuaciones logarítmicas con los diámetros mencionados.

**Figura 41**

*Relación del coeficiente de rugosidad (Método de Cowan) con diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$  para obtener ecuaciones logarítmicas.*



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 41** se aprecia la relación que existe entre los coeficientes de rugosidad calculado por el método de Cowan y los diámetros efectivos  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ , se calcula el coeficiente de determinación  $R^2=0.7451,0.4878$  y  $0.1602$  respectivamente donde se interpreta que el 74.51 %,48.78 % y 16.02 % de la variación en el coeficiente de rugosidad se debe, en gran medida, al diámetro efectivo.  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{50}$  de la gradación lo que significa que el coeficiente de correlación para el diámetro  $d_{60}$  se encuentra en el parámetro de correlación lineal fuerte sin embargo para los diámetros  $d_{84}$  y  $d_{90}$  está en el rango de correlación débil, por lo tanto, solo se considera la ecuación que está en función del diámetro  $d_{60}$ .

### 6.4.6.3. Resumen de las relaciones de los coeficientes de rugosidad con los diámetros efectivos de lecho de río Chilca

Las tablas desde la **Tabla 25** a la **Tabla 36** presentan un resumen de las relaciones entre el coeficiente de rugosidad de Manning y los diámetros efectivos de la granulometría, junto con su respectivo análisis estadístico. Se han destacado aquellas relaciones que exhiben los mayores coeficientes de determinación  $R^2$  en las regresiones lineales simples (modelo lineal) y no lineales simples (modelos; exponencial, potencial y logarítmico). Estos modelos se encuentran detallados en la **Tabla 37**, organizados según cada método de estimación desarrollado.

Es importante destacar que el estadístico calculado ( $t_c$ ) se determinó utilizando la ecuación (58), la cual precisa del coeficiente de correlación, del coeficiente de determinación y del número de pares de datos. Este número de pares corresponde al total de puntos de aforo, que en este caso son cinco. Por su parte, el estadístico tabular  $t_t$  se extrajo de las tablas  $t$  de Student, con un nivel de significancia de  $\alpha=5\%$  y grados de libertad  $GL=N1-2$ , siendo  $N1$  el número de pares de datos. Por ejemplo, para el modelo lineal entre el coeficiente de Manning y el diámetro efectivo  $d_{10}$ , con  $GL=5-2$ , se obtiene  $t_t=2.776$ , aplicable a todos los modelos

**Tabla 25**

*Evaluación estadística del Modelo Lineal que asocia el coeficiente de rugosidad de Manning (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{84}$  y  $d_{90}$ .*

Regresión Lineal	"n" (Med. de Velocidades) vs diámetros efectivos					
	$d_{10}$	$d_{30}$	$d_{50}$	$d_{60}$	$d_{84}$	$d_{90}$
Número de PA	5	5	5	5	5	5
$r$	<b>0.9375</b>	0.8666	0.9039	0.8532	0.2739	0.3479
$R^2$	<b>0.8790</b>	0.7510	0.8170	0.7279	0.0750	0.1210
Estadístico calculado ( $t_c$ )	<b>4.668</b>	3.008	3.660	2.833	0.493	0.643
Estadístico tabular ( $t_t$ )	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	OK	OK	OK	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26**

*Evaluación estadística del Modelo Lineal que asocia el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuación de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión Lineal	"n" (Ecuación de Manning) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	<b>0.9250</b>	0.8760	0.7676	0.5810	0.1510	0.1308
R <sup>2</sup>	<b>0.8557</b>	0.7673	0.5892	0.3376	0.0228	0.0171
Estadístico calculado (tc)	<b>4.218</b>	3.145	2.074	1.237	0.265	0.228
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	OK	NO	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27**

*Evaluación estadística del Modelo Lineal que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning (Método de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión lineal	"n" (Cowan) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	<b>0.7802</b>	0.9420	<b>0.9538</b>	0.8535	0.6706	0.3450
R <sup>2</sup>	0.6087	0.8873	<b>0.9097</b>	0.7285	0.4497	0.1190
Estadístico calculado (tc)	2.160	4.860	<b>5.498</b>	2.837	1.566	0.637
Estadístico tabular (tt)	2.776	2.776	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	NO	OK	<b>OK</b>	OK	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28**

*Evaluación estadística del Modelo Exponencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión exponencial	"n" (Med. de Velocidades) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	<b>0.9317</b>	0.8794	0.9233	0.8689	0.2659	0.3404
R <sup>2</sup>	<b>0.8680</b>	0.7734	0.8524	0.7550	0.0707	0.1159
Estadístico calculado (tc)	<b>4.442</b>	3.200	4.162	3.041	0.478	0.627
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	OK	OK	OK	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29**

*Evaluación estadística del Modelo Exponencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuación de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión exponencial	"n" (Ecuación de Manning) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	<b>5</b>	5	5	5	5	5
r	<b>0.9230</b>	0.8852	0.7819	0.5872	0.1490	0.1285
R <sup>2</sup>	<b>0.8519</b>	0.7835	0.6114	0.3448	0.0222	0.0165
Estadístico calculado (tc)	<b>4.154</b>	3.295	2.173	1.256	0.261	0.224
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	OK	NO	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30**

*Evaluación estadística del Modelo Exponencial entre el coeficiente de rugosidad de Manning (Método de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión exponencial	"n" (Cowan) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	<b>5</b>	5	5	5
r	0.7711	0.9402	<b>0.9503</b>	0.8479	0.6602	0.3347
R <sup>2</sup>	0.5946	0.8840	<b>0.9030</b>	0.7189	0.4358	0.1120
Estadístico calculado (tc)	2.098	4.781	<b>5.285</b>	2.770	1.522	0.615
Estadístico tabular (tt)	2.776	2.776	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	NO	OK	<b>OK</b>	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31**

*Evaluación estadística del modelo potencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Med. de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión potencial	"n" (Med. de Velocidades) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	<b>5</b>	5	5	5	5	5
r	<b>0.9571</b>	0.8458	0.8856	0.8399	0.3041	0.3695
R <sup>2</sup>	<b>0.9160</b>	0.7153	0.7843	0.7055	0.0925	0.1365
Estadístico calculado (tc)	<b>5.720</b>	2.745	3.303	2.681	0.553	0.689
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	NO	OK	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

*Evaluación estadística del modelo potencial que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuación de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión potencial	"n" (Ecuación de Manning) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	<b>0.9300</b>	0.8497	0.7344	0.5627	0.1744	0.0849
R <sup>2</sup>	<b>0.8649</b>	0.7220	0.5394	0.3166	0.0304	0.0072
Estadístico calculado (tc)	<b>4.382</b>	2.791	1.874	1.179	0.307	0.148
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	OK	NO	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33**

*Evaluación estadística del modelo potencial que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning por el Método de Cowan y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión potencial	"n" (Cowan) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	0.8512	0.9450	<b>0.9562</b>	0.8595	0.6891	0.3878
R <sup>2</sup>	0.7245	0.8930	<b>0.9143</b>	0.7388	0.4748	0.1504
Estadístico calculado (tc)	2.809	5.004	<b>5.657</b>	2.913	1.647	0.729
Estadístico tabular (tt)	2.776	2.776	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	OK	OK	<b>OK</b>	OK	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34**

*Evaluación estadística del modelo logarítmico que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning por el método de (Medición de velocidades) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión logarítmica	"n" (Med. de Velocidades) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	5	5	5	5
r	<b>0.9604</b>	0.8340	0.8642	0.8223	0.3124	0.3778
R <sup>2</sup>	<b>0.9224</b>	0.6956	0.7468	0.6762	0.0976	0.1427
Estadístico calculado (tc)	<b>5.972</b>	2.618	2.975	2.503	0.570	0.707
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	NO	OK	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35**

*Evaluación estadística del modelo logarítmico que vincula el coeficiente de rugosidad de Manning (Ecuación de Manning) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión logarítmica	"n" (Ecuación de Manning) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	<b>5</b>	5	5	5	5	5
r	<b>0.9287</b>	0.8408	0.7198	0.5562	0.1764	0.0866
R <sup>2</sup>	<b>0.862</b>	0.707	0.518	0.309	0.031	0.008
Estadístico calculado (tc)	<b>4.336</b>	2.691	1.796	1.159	0.310	0.151
Estadístico tabular (tt)	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	<b>OK</b>	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36**

*Evaluación estadística del modelo logarítmico que relaciona el coeficiente de rugosidad de Manning (Met. de Cowan) y los diámetros efectivos d10, d30, d50, d60, d84 y d90.*

Regresión logarítmica	"n" (Cowan) vs diámetros efectivos					
	d10	d30	d50	d60	d84	d90
Número de PA	5	5	<b>5</b>	5	5	5
r	0.8648	0.9458	<b>0.9563</b>	0.8632	0.6984	0.4002
R <sup>2</sup>	0.7479	0.8945	<b>0.9146</b>	0.7451	0.4878	0.1602
Estadístico calculado (tc)	2.983	5.043	<b>5.668</b>	2.961	1.690	0.756
Estadístico tabular (tt)	2.776	2.776	<b>2.776</b>	2.776	2.776	2.776
Análisis estadístico	OK	OK	<b>OK</b>	OK	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

## 6.5. Resultados

### 6.5.1. Obtención del Modelo de Estimación del coeficiente de rugosidad en función al lecho fluvial

Se seleccionaron los modelos, tanto lineales como no lineales, que exhiben el mayor grado de correlación, reflejado en un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> alto, para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con cada uno de los métodos implementados (método de medición de velocidades, ecuación de Manning y método de Cowan). Los modelos elegidos se han resaltado visualmente en negrita para facilitar su análisis.

**Tabla 37**

*Modelos de regresión por cada método de estimación desarrollado.*

	n (Med. Velocidades)		n(Manning)		n(Cowan)	
	R <sup>2</sup>	d <sub>i</sub>	R <sup>2</sup>	d <sub>i</sub>	R <sup>2</sup>	d <sub>i</sub>
Regresión Lineal	0.879	d10	0.8557	d10	0.9097	d50
Regresión Exponencial	0.868	d10	0.8519	d10	0.903	d50
Regresión Potencial	0.916	d10	<b>0.8649</b>	<b>d10</b>	0.9143	d50
Regresión Logarítmica	<b>0.9224</b>	<b>d10</b>	0.8624	d10	<b>0.9146</b>	<b>d50</b>

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionaron los modelos, tanto lineales como no lineales, que exhiben el mayor grado de correlación, reflejado en un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> alto, para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con cada uno de los métodos implementados (método de medición de velocidades, ecuación de Manning y método de Cowan). Los modelos elegidos se han resaltado visualmente en negrita para facilitar su análisis.

La **Tabla 37** para determinar el coeficiente de rugosidad mediante la metodología de medición de la velocidad, la regresión no lineal o función logarítmica surge como el modelo más apropiado, con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup>=0.9224 entre las variables “n” que representa el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo(d<sub>10</sub>). En consecuencia, derivamos el modelo logarítmicoel (MLog-01) dada por la ecuacion:

$$n = 0.008 \ln ( d_{10} ) + 0.311 \quad ( 45 )$$

En el contexto de la metodología de la ecuación de Manning, la aplicación de la regresión no lineal o la función potencial muestra una correlación superior, como lo demuestra el coeficiente de determinación R<sup>2</sup>=0.8649, entre la variable «n», que indica el coeficiente de rugosidad, y el diámetro efectivo (d<sub>10</sub>). En consecuencia, esto lleva a la derivación del modelo logarítmico (MPot) representado por la siguiente ecuación:

$$n = 0.0349( d_{10} )^{0.152} \quad ( 46 )$$

Para el método de Cowan, la regresión no lineal, específicamente la función logarítmica, ofrece un mejor acoplamiento con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup>=0.9146 entre las variables “n” que representa el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo(d<sub>50</sub>). De esta manera, se establece el modelo logarítmico (MLog-02) según la siguiente ecuación:

$$n = 0.0223 \ln ( d_{50} ) - 0.0164 \quad ( 47 )$$

### 6.5.2. Validación del modelo de Estimación del coeficiente de rugosidad en función al lecho fluvial.

Para validar el modelo de la investigación se estima los coeficientes de rugosidad mediante los modelos encontrado en las ecuaciones( 45 ), ( 46 ),( 47 ) y se contrasta con el coeficiente de rugosidad calculado por la ecuacion de Manning ya que ecuacion considera parámetros propios del rio en estudio .En la **Tabla 38** se observa los coeficientes de rugosidad mediante la ecuacion de Manning y los modelos encontrados.

**Tabla 38**

*Estimación de n de Manning con los modelos encontrados.*

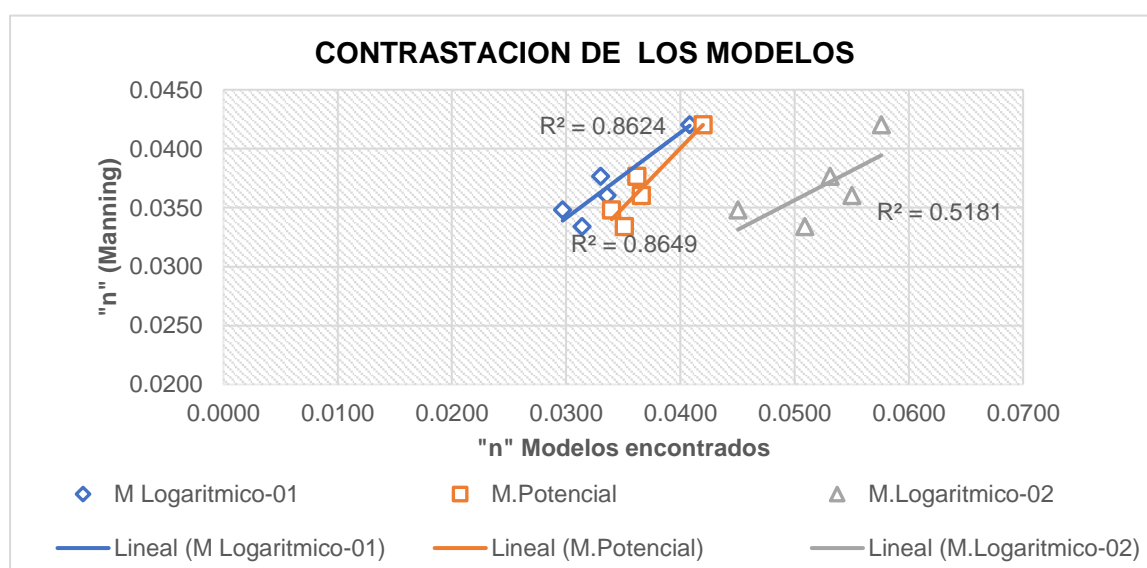
Puntos de Aforo	"n" Ec de Manning.	"n" Modelo logarítmico -01 (MLog-01)	"n" Modelo Potencial (MPot)	"n" Modelo logarítmico-02 (MLog-02)
PA-01	0.0420	0.0408	0.0420	0.0576
PA-02	0.0348	0.0297	0.0340	0.0450
PA-03	0.0334	0.0314	0.0351	0.0509
PA-04	0.0361	0.0336	0.0366	0.0550
PA-05	0.0377	0.0330	0.0362	0.0531
Promedio	<b>0.0368</b>	0.0337	<b>0.0368</b>	0.0523

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 38** muestra que el modelo más adecuado, y que mejor se ajusta a los valores del coeficiente de rugosidad, es el modelo potencial. Este será utilizado como referencia para estimar el coeficiente de rugosidad del río Chilca en función del diámetro efectivo  $d_{10}$ .

**Figura 42**

*Relación entre los modelos determinados y el n de Manning*



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 42** presenta los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de "n" (Manning) y os valores estimados obtenidos a partir de los modelos desarrollados. Se concluye que el mayor coeficiente de relación corresponde al modelo potencial, lo que indica una fuerte correlación. Por lo tanto, este modelo es el más adecuado para estimar los valores del coeficiente de rugosidad del río Chilca en función del diámetro efectivo  $d_{10}$ .

### 6.5.3. Comparativo entre los coeficientes de rugosidad de Manning

**Tabla 39**

*Coeficiente de rugosidad calculado por 3 métodos (Medición de velocidades, Ecuación de Manning y Met. de Cowan*

Puntos de Aforo	Med. de Velocidades	Ec. de Manning.	Met. Cowan
PA-01	0.0406	0.0420	0.0580
PA-02	0.0296	0.0348	0.0450
PA-03	0.0313	0.0334	0.0500
PA-04	0.0355	0.0361	0.0530
PA-05	0.0315	0.0377	0.0550
<b>Promedio=</b>	0.0337	0.0368	0.0522

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40**

*Coeficiente de rugosidad calculado por formulas teóricas*

Puntos de Aforo	FORMULAS TEORICAS							
	Meyer-Peter y Muller	Limerinos	Raudkin	Simons y Senturk	Bray	Griffiths	Jarret	Sauer
PA-01	0.073	0.031	0.023	0.068	0.107	0.027	0.030	0.0350
PA-02	0.070	0.029	0.021	0.062	0.097	0.024	0.023	0.0310
PA-03	0.074	0.031	0.023	0.064	0.102	0.025	0.021	0.0302
PA-04	0.075	0.033	0.023	0.066	0.105	0.027	0.027	0.0335
PA-05	0.072	0.032	0.023	0.065	0.104	0.026	0.041	0.0417
<b>Promedio=</b>	0.073	0.031	0.023	0.065	0.103	0.026	0.028	0.034

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 40** se detallan los coeficientes de rugosidad obtenidos a partir de diversas fórmulas teóricas. Entre ellas, los valores calculados utilizando las fórmulas de Limerinos y Sauer son los que muestran una mayor similitud con los resultados proporcionados por el modelo desarrollado en esta investigación. Esto indica que dichas fórmulas teóricas ofrecen una estimación más precisa y consistente en comparación con el modelo propuesto para el río Chilca.

## 6.6. Discusiones

### 6.6.1. Discusión 1

El modelo desarrollado para estimar el coeficiente de rugosidad está basada en el diámetro efectivo el cual representa al lecho fluvial del río Chilca, se propone 3 modelos no lineales que se genera a partir de la correlación entre el coeficiente de rugosidad y los diámetros efectivos el primer modelo logarítmico (MLog-01) en función al diámetro efectivo  $d_{10}$  dada por la ecuación:  $n = 0.008 \ln(d_{10}) + 0.311$ , el segundo modelo potencial (MPot) en función al diámetro efectivo  $d_{10}$   $n = 0.0349(d_{10})^{0.152}$  y el tercer modelo logarítmico (MLog-02) en función al  $d_{50}$  dada por la ecuación  $n = 0.0223 \ln(d_{50}) - 0.0164$ , de acuerdo al análisis estadístico se elige el que tiene mayor coeficiente de determinación por lo tanto el modelo de la investigación es el Modelo Potencial.

Al respecto Díaz et al.(2020) citado como antecedente nacional en su investigación presenta 3 modelos generados a partir de la relación entre los coeficientes de Manning y diámetros efectivos de la granulometría generando modelos : 1 lineal y 3 no lineales para el Metodo de medición de velocidades desarrolló el Modelo lineal  $n = 0.0042(d_{10}) + 0.0278$ , el segundo modelo para el Metodo de ecuación de Manning es un modelo potencial  $n = 0.0429(d_{10})^{0.1371}$ , el tercer modelo es un modelo logarítmico para el Metodo de Cowan  $n = 0.0058 \ln(d_{10}) + 0.0418$ , y el cuarto otro modelo potencial para el Metodo de medición de rugosidad  $n = 0.047(d_{10})^{\frac{1}{6}}$ , el modelo propuesto finalmente es el segundo modelo potencial cuyo coeficiente de determinación fue  $R^2=0.956$  por lo tanto el modelo que propone en su investigación es  $0.0429(d_{10})^{0.1371}$  aquí,  $n$  representa el coeficiente de rugosidad de Manning, y  $d_{10}$  es el diámetro efectivo del lecho del río en milímetros, donde el 10% del material en peso es menor que este valor.

Analizando los modelos se indica que el modelo potencial es el que se relaciona más con el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo, por consiguiente, el objetivo es alcanzado por que el modelo desarrollado es un modelo de regresión no lineal en relación al diámetro efectivo del río Chilca; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

### 6.6.2. Discusión 2

Analizando la relación entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo, se puede afirmar con un 95% de confianza, a partir de la prueba t de Student, que existe una relación significativa. Con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ) y un valor  $p=0.000$ , se confirma que hay diferencias significativas entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro

efectivo. Además, el valor  $t$  obtenido fue de 2.99, lo cual refuerza la existencia de una correlación sólida entre ambas variables.

Al respecto Díaz et al.(2020),citado como antecedente nacional menciona que el modelo de estimación es un modelo potencial que está vinculado al diámetro correspondiente al 10% de la masa de la muestra( $d_{10}$ ) y la relación que posee entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo es fuerte con un coeficiente de relación  $r=0.977$  finalmente el modelo desarrollado es el que mayor se relaciona .

Como se puede observar ambos modelos son modelos potenciales que tienen una fuerte relación entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo  $d_{10}$ ; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

### **6.6.3. Discusión 3**

Los valores Los valores del coeficiente de rugosidad obtenidos mediante las fórmulas teóricas de Meyer-Peter y Müller ( $n=0.073$ ), Raudking ( $n=0.023$ ), Limerinos ( $n=0.031$ ) y Jarret ( $n=0.028$ ) no coinciden con los resultados del modelo propuesto, que estima  $n=0.0368$  basado en el diámetro  $d_{10}$ . Sin embargo, los coeficientes de rugosidad obtenidos a través de fórmulas que incluyen parámetros hidráulicos, como Manning ( $n=0.0368$ ) y Sauer ( $n=0.034$ ), son más cercanos al valor obtenido por el modelo( $n=0.368$ ).

En relación a esto Martínez y Solano (2020) citado como antecedente internacional en su investigación "Determinación del Coeficiente de Rugosidad del Río Tomebamba mediante Fórmulas Empíricas", también obtuvieron valores similares utilizando diversas fórmulas. Para Garden y Raju, Meyer-Peter y Müller, Raudking y Hec Ras, los coeficientes obtenidos fueron 0.033, 0.035, 0.032 y 0.031, respectivamente. Sin embargo, en las fórmulas de Limerinos y Jarret, que requieren parámetros hidráulicos además del diámetro característico, los valores fueron más altos, 0.061 y 0.091.

La discrepancia en los resultados se debe a que cada fórmula se basa en diferentes proporciones del diámetro de las partículas. Meyer-Peter y Müller consideran el  $d_{90}$  (90% de partículas de menor diámetro), Raudking usa el  $d_{65}$  (65% de partículas), Limerinos emplea el  $d_{84}$  (84% de partículas), y Jarret se basa en el  $d_{50}$  (50% de partículas). Esto hace que no sea consistente aplicar algunas fórmulas teóricas en este contexto, ya que los coeficientes varían según las características específicas, en relación al diámetro efectivo y parámetros hidráulicos de cada río; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

### **6.6.4. Discusión 4**

Los valores obtenidos por el modelo potencial de la investigación oscilan entre  $n_{\min}=0.034$ ,  $n_{\max}=0.042$  y  $n_{\text{promedio}}=0.0368$  en comparación con los valores determinados por

la ecuación de Manning  $n_{\text{mín}}=0.0334$ ,  $n_{\text{máx}}=0.042$  y  $n_{\text{promedio}}=0.0368$ , valores de Sauer (1990)  $n_{\text{mín}}=0.0302$ ,  $n_{\text{máx}}=0.0417$  y  $n_{\text{promedio}}=0.034$ , Limerinos (1970)  $n_{\text{mín}}=0.029$ ,  $n_{\text{máx}}=0.033$  y  $n_{\text{promedio}}=0.031$  son similares, de esta manera se contrasta el modelo desarrollado en la investigación.

Respecto a ello Burgos y Vásquez (2021) citado como antecedente nacional desarrolla una ecuación en función al diámetro representativo  $d_{30}$  que corresponde al 30% de la masa de la muestra con partículas de menor diámetro, que oscilan  $n_{\text{mín}}=0.0021$ ,  $n_{\text{máx}}=0.0642$  y  $n_{\text{promedio}}=0.0301$  en comparación con los valores obtenidos por la ecuación de Manning  $n_{\text{mín}}=0.0436$ ,  $n_{\text{máx}}=0.2953$  y  $n_{\text{promedio}}=0.1182$  en no son similares lo cual indica que la variación se da por la pendiente y no por diámetro efectivo, sin embargo mencionan que según la tabla que nos proporciona Chow (2004, p. 107) los valores calculados por la ecuación desarrollada en esta investigación está dentro del parámetro que caracteriza al río en estudio.

Contrastando valores entre los coeficientes de rugosidad calculado por el modelo desarrollado en esta investigación y valores determinados por fórmulas teóricas que consideran parámetros hidráulicos, se observa similitudes por lo tanto se valida el modelo y es correcto aplicar en otros ríos con características similares; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

## 6.7. Análisis Estadísticos

### 6.7.1. Contraste de hipótesis

Para realizar este análisis, se empleó el software SPSS.

#### 6.7.1.1. *El modelo de estimación del coeficiente de rugosidad está relacionado con el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca.*

1. En primer lugar, utilizamos la prueba de Shapiro-Wilk, que permite examinar este atributo, para determinar si los datos tenían una distribución normal. Para esto, se formularon la hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ):

**$H_0$ : El origen de la muestra es una distribución normal.**

**$H_1$ : No existe una distribución normal en el conjunto de datos.**

2. A continuación, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar los datos en función del análisis de normalidad a un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ). La hipótesis nula se aceptó o rechazó basándose en una regla de decisión: si  $\alpha$  es mayor que el valor de significación ( $p$ ), se rechaza; si  $\alpha$  es menor que el valor de significación ( $p$ ), se acepta.

**Tabla 41**

*Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk del coeficiente de relación de los modelos y el diámetro efectivo*

Diámetros efectivos	Media				Estadístico	Datos de normalidad				Normalidad
	Coef. Regresión lineal	Coef. Regresión exponencial	Coef. Regresión potencial	Coef. Regresión logarítmica		Sig. (p) para la Regresión lineal	Sig. (p) para la Regresión exponencial	Sig. (p) para la Regresión potencial	Sig. (p) para la Regresión logarítmica	
d10	0,7811	0,7715	0,835	0,8442	1,000	0,149	0,100	0,498	0,659	Si
d30	0,8019	0,816	0,7768	0,7657	1,000	0,210	0,158	0,064	0,098	Si
d50	0,7720	0,7889	0,746	0,7265	1,000	0,544	0,311	0,666	0,831	Si
d60	0,5980	0,6062	0,587	0,5769	1,000	0,003	0,152	0,136	0,282	NO
d84	0,1825	0,1762	0,1992	0,2055	1,000	0,215	0,205	0,247	0,258	Si
d90	0,8570	0,0815	0,98	0,1035	1,000	0,032	0,066	0,168	0,200	NO

Fuente: Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 41**, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, realizada con un nivel de confianza del 95%, reveló que los valores de p eran mayores a 0.05, lo que llevó a aceptar la hipótesis nula. Esto indica que el modelo para estimar el coeficiente de rugosidad se relaciona con el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca, ya que presenta una distribución normal en todos los grupos analizados.

3. Una vez establecida la normalidad de la muestra, se eligió el análisis de la varianza, comúnmente denominado prueba t de Student, como método estadístico adecuado para los datos con distribución normal. A continuación, se formularon la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Hipótesis nula ( $H_0$ ): El **diámetro efectivo** y el modelo de estimación del **coeficiente de rugosidad** no difieren significativamente.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): El **diámetro efectivo** y el modelo de estimación del **coeficiente de rugosidad** difieren significativamente.

4. A continuación, se eligió un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y se utilizó el análisis estadístico t de Student para evaluar los datos. La hipótesis nula se aceptó o rechazó mediante la regla de decisión. La hipótesis nula se rechazaba si  $\alpha$  superaba  $\text{Sig}(\rho)$ ; si  $\alpha$  era inferior a  $\text{Sig}(\rho)$ , se aceptaba la hipótesis nula.

**Tabla 42**

*Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student*

Modelos	Diámetros		Grados de libertad	t	Media	F	Sig. (p)
<b>Modelo lineal</b>	d10	d30	4	0,215	0,7811	3,069	0,0841
	d50	d60	4	1,078	0,8019	0,759	0,0542
	d84	d90	4	0,698	0,7720	7,487	0,0524
<b>Modelo exponencial</b>	d10	d30	4	0,442	0,7715	4,865	0,0844
	d50	d60	4	1,149	0,8160	1,011	0,0550
	d84	d90	4	2,704	0,7889	7,699	0,0520
<b>Modelo potencial</b>	d10	d30	4	3,715	0,8350	0,15	0,0481
	d50	d60	4	2,911	0,7768	0,383	0,0414
	d84	d90	4	1,692	0,7460	5,668	0,0427
<b>Modelo logarítmica</b>	d10	d30	4	2,954	0,8442	0,455	0,0514
	d50	d60	4	2,843	0,7657	0,262	0,0447
	d84	d90	4	1,678	0,7265	5,389	0,0535

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 42**, el análisis estadístico t de Student al 95% de confianza estadística, muestra que los valores  $p < 0.05$ , es decir rechazamos la hipótesis nula, entonces decimos que el modelo está en relación al diámetro efectivo debido a que presenta una relación significativa.

**6.7.1.2. La relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo el cual representa a las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca es fuerte.**

1. En primer lugar, utilizamos la prueba de Shapiro-Wilk, que permite examinar este atributo, para determinar si los datos tenían una distribución normal. Para esto, se formularon la hipótesis nula (H0) y alternativa (H1):

**H0: El origen de la muestra es una distribución normal.**

**H1: No existe una distribución normal en el conjunto de datos.**

2. A continuación, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar los datos en función del análisis de normalidad a un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ). La hipótesis nula se aceptó o rechazó basándose en una regla de decisión: si  $\alpha$  es mayor que el valor de significación ( $p$ ), se rechaza; si  $\alpha$  es menor que el valor de significación ( $p$ ), se acepta.

**Tabla 43**

*Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo*

Modelos propuestos	Diámetro efectivo	Media	Datos de normalidad		
			Estadístico	Sig. (p)	Normalidad
Modelo Potencial	d10	0,0367	1,000	0,181	Si
Modelo logarítmico	d50	0,052	1,000	0,813	Si

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 41**, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, aplicada al 95% de confianza, revela que los valores de  $p$  son mayores a 0.05. Esto implica que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa, entonces decimos que la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca es fuerte ya que presenta una distribución normal.

3. Ya una vez establecida la normalidad de la muestra, se eligió el análisis de la varianza, comúnmente denominado prueba t de Student, como método estadístico adecuado para los datos con distribución normal. A continuación, se formularon la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alternativa (H1).

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencia significativa entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una diferencia significativa entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo

4. Luego, se eligió un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y se utilizó el análisis estadístico t de Student para evaluar los datos. La hipótesis nula se aceptó o rechazó mediante la regla de decisión. La hipótesis nula se rechazaba si  $\alpha$  superaba Sig( $p$ ); si  $\alpha$  era inferior a Sig( $p$ ), se aceptaba la hipótesis nula.

**Tabla 44**

*Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student*

		Grados de libertad	t	Media	F	Sig. (p)
<b>Coeficiente de rugosidad</b>	Se asumen las varianzas iguales	8	6,19	0,7811	,859	0,000
	No se asumen las varianzas iguales	6,840	6,19			0,001

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 44**, El análisis estadístico utilizando la t de Student, con un nivel de confianza del 95%, indica que los valores de  $p$  son menores a 0.05. Esto implica que rechazamos la hipótesis nula, lo que nos lleva a concluir que existe una relación significativa entre el coeficiente de Manning y el diámetro efectivo.

### **6.7.1.3. Los valores obtenidos mediante el modelo propuesto son aquellos que están en el rango aceptable acorde a las características del lecho fluvial del río.**

1. En primer lugar, utilizamos la prueba de Shapiro-Wilk, que permite examinar este atributo, para determinar si los datos tenían una distribución normal. Para esto, se formularon la hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ):

**$H_0$ : El origen de la muestra es una distribución normal.**

**$H_1$ : No existe una distribución normal en el conjunto de datos.**

2. A continuación, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar los datos en función del análisis de normalidad a un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ). La hipótesis nula se aceptó o rechazó basándose en una regla de decisión: si  $\alpha$  es mayor que el valor de significación ( $p$ ), se rechaza; si  $\alpha$  es menor que el valor de significación ( $p$ ), se acepta.

**Tabla 45**

*Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre los valores del modelo propuesto y valores establecidos por Chow (2004)*

Modelos propuestos	gl	Media	Datos de normalidad		
			Estadístico	Sig. (p)	Normalidad
Modelo Potencial	5	0,0367	1,000	0,178	Si
Valores de Chow	5	0,052	1,000	0,201	Si

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 45**, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, realizada con un nivel de confianza del 95%, revela que los valores  $p$  son mayores a 0.05. Esto implica que aceptamos la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alternativa. Por lo tanto, podemos concluir que existe una relación sólida entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca, dado que los datos siguen una distribución normal.

- Ya Una vez establecida la normalidad de la muestra, se eligió el análisis de la varianza, comúnmente denominado prueba  $t$  de Student, como método estadístico adecuado para los datos con distribución normal. A continuación, se formularon la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencia significativa entre los **coeficientes de rugosidad calculados por el Modelo Potencial** y los **coeficientes de rugosidad establecidos por Chow (2004)**

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe diferencia significativa entre los **coeficientes de rugosidad calculados por el Modelo Potencial** y los **coeficientes de rugosidad establecidos por Chow (2004)**.

- Luego, se eligió un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y se utilizó el análisis estadístico  $t$  de Student para evaluar los datos. La hipótesis nula se aceptó o rechazó mediante la regla de decisión. La hipótesis nula se rechazaba si  $\alpha$  superaba  $\text{Sig}(p)$ ; si  $\alpha$  era inferior a  $\text{Sig}(p)$ , se aceptaba la hipótesis nula.

**Tabla 46**

*Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student*

	Diferencias emparejadas					
	Media	Desviación	95% de Int. de confianza de la diferencia		t	Sig. (p)
			Inferior	Superior		
Chow-Modelo potencial	0,042	0,0827	-0,50312	0,155112	3,416	0,023

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 46**, El análisis estadístico t de Student con un 95% de confianza muestra valores de  $p < 0.05$ , lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Esto confirma que los valores obtenidos a través del modelo propuesto tienen una relación significativa con los valores establecidos por Chow (2004).

**4.1.1.1. El modelo se contrasta comparando los valores calculados mediante el modelo propuesto con los valores obtenidos a través de métodos teóricos, asegurando que ambos sean aproximados.**

1. Inicialmente, determinamos la normalidad de la distribución de los datos mediante la implementación de la prueba de Shapiro-Wilk, que sirve para evaluar la adherencia a una distribución normal. Para ello, establecimos tanto la hipótesis nula ( $H_0$ ) como la hipótesis alternativa ( $H_1$ ):

**$H_0$ : El origen de la muestra es una distribución normal.**

**$H_1$ : No existe una distribución normal en el conjunto de datos.**

2. A continuación, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar los datos en función del análisis de normalidad a un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ). La hipótesis nula se aceptó o rechazó basándose en una regla de decisión: si  $\alpha$  es mayor que el valor de significación ( $p$ ), se rechaza; si  $\alpha$  es menor que el valor de significación ( $p$ ), se acepta.

**Tabla 47**

*Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de la relación que existe entre el modelo propuesto y los modelos Teóricos.*

Métodos Teóricos	gl	Media	Datos de normalidad		
			Estadístico	Sig. (p)	Normalidad
Limerinos	5	0.0312	1,000	0,683	Si
Jarret	5	0.284	1,000	0,621	Si
Sauer	5	0.3424	1,000	0,646	Si

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 47**, La prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, con un nivel de confianza del 95%, arroja valores de  $p$  superiores a 0.05. Esto implica que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, entonces decimos que la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca es fuerte ya que presenta una distribución normal.

3. Una vez confirmada la normalidad de la muestra, se selecciona un método estadístico apropiado para analizar datos con dicha distribución. En este caso, se opta por el análisis de varianza mediante la prueba t de Student.

Comenzamos estableciendo la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencia significativa entre el Modelo propuesto y los Métodos Teóricos

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe diferencia significativa entre el **Modelo propuesto** y los **Métodos Teóricos**

4. En seguida, se establece un nivel de significancia, en este caso del 5% ( $\alpha = 0.05$ ), y luego se procesan los datos utilizando el análisis estadístico T de Student. Para tomar una decisión sobre la hipótesis nula, se aplica la siguiente regla: si  $\alpha$  es mayor que Sig ( $\rho$ ), se rechaza la hipótesis nula; si  $\alpha$  es menor que Sig ( $\rho$ ), se acepta la hipótesis nula.

**Tabla 48**

*Tabla de Resultados del análisis estadístico T de Student*

	Media	Desviación	95% de Int. de confianza de la diferencia		t	Sig. ( $\rho$ )
			Inferior	Superior		
			Modelo Potencial - Metodo de Limerinos	0,0312		
Modelo Potencial- Metodo de Jarret	0,0284	0,00752	0,00988	2,483	2,483	0,0480
Modelo Potencial- Metodo de Sauer	0,0343	0,00474	0,0034	1,168	1,168	0,0308

Fuente: Elaboración propia, 2024; adaptado del SPSS 25

Según la **Tabla 48**, el análisis estadístico t de Student al 95% de confianza estadística, muestra que los valores  $\rho < 0.05$ , es decir rechazamos la hipótesis nula, entonces decimos que el Modelo propuesto y los Modelos Teóricos tienen una relación significativa.

## CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

1. Se concluye presentando el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad, el cual corresponde al modelo potencial en relación al diámetro efectivo  $d_{10}$  (que representa al 10% de la masa de la muestra con partículas de menor diámetro). Este modelo refleja con precisión las características superficiales del lecho fluvial, y su relación se expresa mediante la siguiente fórmula:  $n = 0.0349(d_{10})^{0.152}$ .
2. Se infiere a través de los gráficos y el análisis de los coeficientes de correlación, que existe una relación significativa entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro efectivo, que representa las características superficiales del lecho fluvial. Esta fuerte relación indica que el diámetro efectivo, particularmente el  $d_{10}$ , es un buen indicador de la rugosidad del flujo en el río, lo que sugiere que las características granulométricas de las partículas más finas del sedimento desempeñan un papel crucial en la determinación de la resistencia al flujo.
3. Se determinaron los valores del coeficiente de rugosidad utilizando el modelo propuesto para cinco puntos de aforo, obteniéndose resultados de  **$n_{min}=0.0340$** ,  **$n_{máx}=0.0420$**  y  **$n_{promedio}=0.0368$** , estos valores se encuentran dentro del rango establecido por Chow (2004, p. 107), que menciona, para ríos con presencia de matorrales y piedras, valores de  **$n_{min}=0.035$** ,  **$n_{máx}=0.050$**  y  **$n_{promedio}=0.045$** . Esto corrobora que el modelo propuesto es el adecuado, ya que se ajusta a las características del río Chilca, cuyas condiciones geomorfológicas y de composición del lecho fluvial corresponden a los parámetros descritos en la literatura.
4. Finalmente, los valores obtenidos a partir del modelo propuesto muestran una sólida consistencia con los resultados generados por métodos teóricos reconocidos, como los de Manning, Limerinos y Sauer, los cuales se basan en el uso de diámetros efectivos y parámetros hidráulicos para la estimación del coeficiente de rugosidad. Esta correspondencia entre los resultados respalda la validez y precisión del modelo desarrollado, permitiendo no solo una mejor comprensión del comportamiento hidráulico del río Chilca. En consecuencia, este modelo constituye una herramienta valiosa para estudios hidrológicos y aplicaciones prácticas en el manejo de recursos hídricos, especialmente en ríos con características similares.

## 5.2. Recomendaciones

1. Se sugiere la continuidad en la investigación sobre el coeficiente de rugosidad, con el objetivo de perfeccionar las metodologías existentes y desarrollar modelos innovadores que faciliten su obtención de manera más directa. Específicamente, es fundamental explorar enfoques que simplifiquen el proceso de estimación en ríos no aforados. La implementación de métodos más accesibles no solo podría optimizar la recolección de datos, sino también hacer que los resultados sean más aplicables en diversos contextos fluviales
2. Se recomienda llevar a cabo análisis exhaustivos durante y después de eventos de crecidas o lluvias intensas con el fin de comprender con mayor precisión cómo estos fenómenos afectan las características del lecho fluvial. Estos eventos pueden alterar significativamente la granulometría, la distribución de sedimentos y, en consecuencia, el coeficiente de rugosidad del río. La inclusión de estos análisis permitirá evaluar la variabilidad temporal del lecho y su influencia en el comportamiento hidráulico, proporcionando datos más representativos para la gestión de los recursos hídricos y la planificación de medidas de mitigación frente a inundaciones y erosión.
3. Es recomendable realizar mayor cantidad de mediciones en diferentes secciones del río, incluyendo tramos con distintas características morfológicas, como meandros, zonas rectas, y tramos de confluencia. Esto ayudará a capturar la variabilidad natural en el coeficiente de rugosidad
4. Es fundamental llevar a cabo investigaciones similares en todos los ríos que presenten características similares al río Chilca. Estas investigaciones permitirán establecer comparaciones y contribuirán a optimizar tanto la metodología como los procedimientos utilizados en este estudio. Este enfoque representa un primer paso hacia un entendimiento más profundo y completo del comportamiento de los ríos en todo el territorio nacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, R. (2011). Identidad Y Diferenciación Entre Método Y Metodología. *Scielo*, 28, 81–103. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-16162013000100005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16162013000100005)
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para Ingenieros*. [https://www.academia.edu/33692697/Metodología\\_de\\_Investigación\\_Científica\\_para\\_ingeniería\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodología_de_Investigación_Científica_para_ingeniería_Civil)
- Burgos, N. (2017). *Estimación del coeficiente de rugosidad de manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, en el río Chonta, Cajamarca 2016* [Universidad nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1507>
- Burgos, N., & Vásquez, L. (2021). Correlación entre el coeficiente de rugosidad de manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca - Perú. *Revista Ingeniería UC*, 28(2), 265–273. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.25>
- Caicedo, D. (2022). *Caracterización granulométrica y mineralógica de los sedimentos de la cuenca del Atrato* [Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/32070>
- Chen, Z., Zhou, J., & Chen, Q. (2023). Research and Application of the Calculation Method of River Roughness Coefficient with Vegetation. *Water (Switzerland)*, 15(14), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w15142638>
- Chinchay, E. (2020). *Comparación de métodos analíticos en el cálculo del coeficiente de rugosidad frente al de manning, en la parte baja de cinco subcuencas del río Santa, entre Recuay y Caraz, 2019* [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5294>
- Chow, V. (2004). *Hidráulica de canales abiertos* (M. Suarez (ed.)). <https://librosparaestudiantesuniversitarios.blogspot.com/2016/08/hidraulica-de-canales-abiertos-ven-te.html>
- Díaz, A., Guevara, E., & Rosales, J. (2020). Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay-Carhuaz, Ancash, Perú. *Revista Ingeniería UC*, 7(3), 328–342. <https://www.redalyc.org/journal/707/70767026009/html/>
- Eduardo, O. (2010). *Correlaciones geométricas en suelos internamente inestable*. [https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-ortuzar\\_mb/pdfAmont/cf-ortuzar\\_mb.pdf](https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-ortuzar_mb/pdfAmont/cf-ortuzar_mb.pdf)
- Fernández, C., León, A., Rodríguez, Y., Martínez, P., & Meneses, D. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de manning para cauces naturales. *Scielo*, 39(1), 17–31. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382018000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100002)
- Fernández, J. (2022). Modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de manning

- en función de la altura del material del fondo del cauce del río Achiguate-Guacalate. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 17(1), 22–28. <https://doi.org/10.36829/08asa.v17i1.1410>
- García, C., & Vide, J. M. (2001). Caracterización granulométrica del lecho móvil de un río de gravas efímero: Aplicación a un tramo de la riera de Les Arenes. *Acta Geologica Hispanica*, 36(1–2), 137–147. <https://www.raco.cat/index.php/ActaGeologica/article/download/75635/107115/0>
- García Olmos, F. C. (2019). *Hidrología En La Ingeniería Forestal*. June. <https://www.researchgate.net/publication/333881309>
- Guívar, J. (2023). *Rugosidad de manning en el cauce del río cajamarquino, tramo puente Llacanora-Huayrapongo para los periodos de estiaje y lluvias* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5839>
- Gutiérrez, J. (2009). *Calculo Del Coeficiente De Rugosidad De Manning Utilizando Gravilla, Arena, Piedra Pegada Y Tierra Como Fondo Mediante Un Canal a Escala Como Modelo Fisico*. 81. [epository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15265/2/T40.09.G985c.pdf](https://repositorio.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15265/2/T40.09.G985c.pdf)
- Guzmán, R., Bezada, M., & Rodríguez, I. (2021). Granulometric characterization of sediments in the anastomosed system of the Apure river Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*, 109(March). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103274>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). Mc Graw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25246403> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4249520>
- Hernández, V., & Nélida, C. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. *Terra Nueva Etapa*, 34(56), 1012–1089. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72157132006>
- Juárez, M. (2016). *Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo La encantada Saltillo Coahuila mediante el método Pfafstetter* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8089>
- López Roldan, P., & Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. *Metodología de La Investigación Social Cuantitativa*, 104. [https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163567/metinvsocua\\_a2016\\_cap2-3.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163567/metinvsocua_a2016_cap2-3.pdf) <http://ddd.uab.cat/record/129382>
- Martin, J. (2003). *Ingeniería de rios* (2a ed.). Universidad Politecnica de Catalunya. [https://www.academia.edu/25600236/Ingenieria\\_de\\_Rios\\_Juan\\_p\\_Martin\\_Vide](https://www.academia.edu/25600236/Ingenieria_de_Rios_Juan_p_Martin_Vide)
- Martínez, D., & Solano, H. (2020). *Determinación del coeficiente de rugosidad del río Tomebamba mediante fórmulas empíricas* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10272>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.

- [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Moreira S., Velez D., V. X. (2024). *Samuel David Moreira-Intriago*. 9(3), 3966–3981. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6890/pdf>
- Nava, A., & Cortes, D. (2010). “ Hidraulica De Ríos .” *Instituto Politecnico Nacional*, 1, 78. El cálculo de la rugosidad en el rio chilca está orientado a obtener valores de rugosidad que permitan conocer el comportamiento hidráulico de este rio para diseñar estructuras hidráulicas mas eficientes.
- Osio, M., Valencia, F., Guevara, E., & Cartay, H. (2000). Cálculo del coeficiente de rugosidad “n” de manning en los grandes rios de Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 7(2), 13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70770202>
- Poleto, C., Dalfré, J., & Sotero, A. (2023). Hidráulica de ríos. *International Asociation for Hydro-Environment Engineering and Research*, 3. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/28214/LeccionesAprendidasAplicación.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Quintero, D. I., López De Azarevich, V., Ferreira, S. E., Rove-Re, A. E., Espinoza, P. C., & Sulbelza, C. R. (2022). Granulometric Analysis of Sediments and Fluvial Dynamics in the Lorohuasi River Basin (Cafayate, Salta). *Serie Correlacion Geologica*, 37(1), 19–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5512197>
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica De Tuberias Y Canales* (1a ed.). Universidad Nacional de Ingenieria. <https://www.hidrosm.com/2022/01/hidraulica-tuberias-canales-rocha-felices.html>
- Rosales, J. (2019). *Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de manning en función de la granulometría en el rio Santa, sector Recuay-Carhuaz-Ancash, 2019* [Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4227>
- SENAMHI. (2018). *Manual de Hidrometria*. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/264>
- Serrano, V. (2021). *Creación del modelo hidráulico bidimensional calibrado mediante el análisis granulométrico para la determinación del coeficiente de rugosidad en dos trayectos de control ubicados en el rio Ahogados y río Tempisque, para apl* [Instituto Tecnológico de Costa]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13539>
- Tacuri Tacuri Hernan Jeremias. (2023). *Análisis del coeficiente de rugosidad en ríos de montaña mediante la aplicación de modelos hidráulicos bidimensionales (2D)*. 1–64. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/41347>
- Villon B., M. (2005). *Hidrologis Estadistica*. 433. [https://www.sancristoballibros.com/libro/hidrologia-estadistica\\_16065](https://www.sancristoballibros.com/libro/hidrologia-estadistica_16065)
- Yuni, J. A., & Urbano, C. A. (2014). Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación. In *Editorial Brujas* (1a ed., Vol. 2). [https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=847671&lang=es&site=eds-live&scope=site&ebv=EB&ppid=pp\\_Cover](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=847671&lang=es&site=eds-live&scope=site&ebv=EB&ppid=pp_Cover)

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

Tesis: “MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO,2023”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Desarrollar el modelo para estimar el coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del Río Chilca-Huancayo,2023.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El modelo de estimación del coeficiente de rugosidad está relacionado con el diámetro efectivo que caracteriza el lecho fluvial del río Chilca, Huancayo.</p>	<p><b>Variable independiente (X):</b> Lecho fluvial</p>	D1: Gradación	I1: Finos I2: Arenas I3: Gravas	<p><b>Método de investigación:</b> Método científico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Correlacional</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental de corte transversal</p> <p><b>Población:</b> La población objeto de estudio en esta investigación es LA CUENCA MEDIA DEL Río Chilca</p>
<p><b>Problemas específicos:</b> a) ¿Cuál es la relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> a) Determinar la relación entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.</p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b> a) La relación que existe entre el coeficiente de rugosidad y las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca es fuerte.</p>		D2: Consistencia	I2: Limite plástico I3: Índice de plasticidad	
<p>b) ¿Cuáles son los valores obtenidos mediante el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?</p>	<p>b) Calcular valores mediante el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.</p>	<p>b) Los valores obtenidos mediante el modelo propuesto son aquellos que están en el rango aceptable acorde a las características del lecho fluvial del río.</p>		D1: Caudal	I1: Velocidad I2: Área	
<p>c) ¿De qué manera se puede contrastar el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo,2023?</p>	<p>c) Contrastar el modelo de estimación del coeficiente de rugosidad basada en las características superficiales del lecho fluvial del río Chilca-Huancayo.</p>	<p>c) El modelo se contrasta comparando los valores calculados mediante el modelo propuesto con los valores obtenidos a través de métodos teóricos, asegurando que ambos sean aproximados.</p>	<p><b>Variable dependiente (Y):</b> Coeficiente de Rugosidad</p>	D3: Pendiente	I1: Alta I2: Media I2: Media	<p><b>Muestra:</b> La muestra estará compuesta por aproximadamente 1km de la cuenca media del río Chilca donde se analizará 5 secciones.</p> <p><b>Técnicas de recolección de datos:</b> Observación directa</p> <p><b>Instrumentos de recolección de datos:</b> Fichas de recolección de datos</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> Análisis estadístico descriptivo e inferencial.</p>

## Anexo 2: Fichas de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS																	
TESIS:	"MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO.2023"																
AUTOR:	Pocomucha Quinte Liz Leydi																
INFORMACION BASICA																	
DEPARTAMENTO:	Junín				ESTACION:	PA-01 0+0.00 Km											
PROVINCIA:	Huancayo				COORDENADAS:	E 776432.07		N 8665185.89									
DISTRITO:	Chilca				COTA:	3283.26											
FECHA:	01-06-2024				RIO:	Chilca											
HORA INICIAL:	09:20 am		HORA FINAL:	10:00 am		CUENCA/CURSO:	Cuenca Media/Zona urbana										
TRABAJO DE CAMPO																	
PARÁMETROS HIDRÁULICOS							PARÁMETROS DE LECHO DE FONDO										
DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	ANCHO DE LA SECCION	ALTO DE LA SECCION	PENDIENTE	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL(Q)	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	AREA DE EXTRACCION	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA							
m	m	m	%	cm	m/seg	m <sup>3</sup> /seg	m	m <sup>2</sup>	s	kg							
0.53	4.32	0.53	0.12	0.72	0.63	0.234	2.10	1	Granos	50							
1.05	4.32	0.60	0.14	0.36	0.57	0.179											
1.57	4.32	0.65	0.14	0.39	0.50	0.191											
2.10	4.32	0.72	0.13	0.43	0.53	0.202											
2.63	4.32	0.66	0.14	0.40	0.53	0.185											
3.16	4.32	0.60	0.13	0.36	0.53	0.168											
3.68	4.32	0.39	0.13	0.32	0.66	0.240											
Observaciones:																	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LA FICHA DE RECOLECCION LO NOTAS CONTIENE INFORMACION DETERMINA POR LO QUEP ES APLICABLE</li> <li>• Ninguna objeción, los datos son correctos</li> </ul>																	
Opinión de aplicabilidad:																	
<table border="0"> <tr> <td></td> <td>( X )</td> <td>Aplicable</td> <td>( )</td> <td>No aplicable</td> <td>( )</td> <td>Corregir</td> </tr> </table>												( X )	Aplicable	( )	No aplicable	( )	Corregir
	( X )	Aplicable	( )	No aplicable	( )	Corregir											
Información del Profesional evaluador:		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ing JIFE ROSALBA ZARATE N° CIP 243814</li> <li>• Ing Paul Chacusanampa Paredes N° CIP 155281</li> <li>• Ing PAMELA LARA DELACRUZ VEGA N° CIP 156132</li> </ul>				FIRMA:											

  
 TITO ROSALBA ZARATE  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. del CIP. N° 243814

  
  
 Ing. Paul Chacusanampa Paredes  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 155281

  
  
 PAMELA LARA DELACRUZ VEGA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 156132

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS										
TESIS:	"MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO 2023"									
AUTOR:	Pocomucha Quinte Liz Leydi									
INFORMACION BASICA										
DEPARTAMENTO:	Junin	ESTACION:	PA-02	04 910 60 km						
PROVINCIA:	Huancayo	COORDENADAS:	E: 478281.548	N: 8465126.67						
DISTRITO:	Chilca	COTA:	3285.240							
FECHA:	01/06/2024		RIO:	Chilca						
HORA INICIAL:	10:10:00	HORA FINAL:	CUENCA/CURSO: Cuenca Media/Zona urbana							
TRABAJO DE CAMPO										
PARÁMETROS HIDRÁULICOS							PARÁMETROS DE LECHO DE FONDO			
DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	ANCHO DE LA SECCION	ALTO DE LA SECCION	PENDIENTE	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL(Q)	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	AREA DE EXTRACCION	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA
m	m	m	%	cm	m/seg	m <sup>3</sup> /seg	m	m <sup>2</sup>	s	kg
0.54	4.32	0.63	0.08	0.38	0.50	0.211	2.16	1	Gravas	20kg
1.08	4.32	0.67	0.08	0.40	0.73	0.157			pedregos	
1.62	4.32	0.67	0.06	0.40	0.47	0.169			arena	
2.16	4.32	0.67	0.07	0.40	0.43	0.157				
2.70	4.32	0.65	0.07	0.39	0.43	0.132				
3.24	4.32	0.61	0.08	0.38	0.57	0.187				
3.78	4.32	0.56	0.07	0.34	0.60	0.264				
Observaciones:										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOS DATOS DE CAMPO SON LOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO</li> <li>• EL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS CONTIENE DATOS SUFICIENTES PARA LA INVESTIGACION</li> </ul>										
Opinión de aplicabilidad:										
<input checked="" type="checkbox"/> Aplicable <input type="checkbox"/> No aplicable <input type="checkbox"/> Corregir										
Información del Profesional evaluador:		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ing. Tito Raima Capcha N.O.C.P. 24384</li> <li>• Ing. Paul Chanconampan Pasteco N.O.C.P. 155281</li> <li>• Ing. Percy Lino de la Cruz Lopez N.O.C.P. 156132</li> </ul>				FIRMA:				

  
 TITO RAIMA CAPCHA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. del CIP. N° 2004

  
 PAUL CHANCONAMPAN PASTECO  
 INGENIERO CIVIL  
 DIP. 155281

  
 PERCY LINO DE LA CRUZ LOPEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 156132

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS										
TESIS:	"MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO, 2023"									
AUTOR:	Pocomucha Quinto Liz Leydi									
INFORMACION BASICA										
DEPARTAMENTO:	Junin	ESTACION:	PA-03 01 470 00 KM							
PROVINCIA:	Huancayo	COORDENADAS:	E 498039.923	N 868504.89						
DISTRITO:	Chilca	COTA:	3230 M0							
FECHA:	01/06/2021		RIO:	Chilca						
HORA INICIAL:	HORA FINAL:	12:40 PM		CUENCA/CURSO:	Cuenca Media/Zona urbana					
TRABAJO DE CAMPO										
PARÁMETROS HIDRÁULICOS							PARÁMETROS DE LECHO DE FONDO			
DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	ANCHO DE LA SECCION	ALTO DE LA SECCION	PENDIENTE	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL(Q)	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	AREA DE EXTRACCION	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA
m	m	m	%	m	m/seg	m <sup>3</sup> /seg	m	m <sup>2</sup>	s	kg
0.57	4.54	0.68	0.06	0.41	0.50	0.243	2.27	L	grava	20
1.14	4.54	0.72	0.06	0.43	0.43	0.177			pedras	
1.70	4.54	0.71	0.06	0.43	0.43	0.175			arena	
2.27	4.54	0.70	0.07	0.42	0.47	0.186				
2.84	4.54	0.66	0.07	0.40	0.53	0.200				
3.41	4.54	0.60	0.06	0.36	0.53	0.182				
3.98	4.54	0.59	0.07	0.32	0.47	0.175				
Observaciones:										
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los datos son variables por del desarrollo del río.</li> <li>El instrumento es apto.</li> </ul>										
Opinión de aplicabilidad:										
<input checked="" type="checkbox"/> (X) Aplicable <input type="checkbox"/> No aplicable <input type="checkbox"/> Corregir										
Información del Profesional evaluador:		<ul style="list-style-type: none"> <li>Jry Tito Mallina Cardona N° CIP 245871</li> <li>Jry Paul Chancasampa Padilla N° CIP 152281</li> <li>Jry Percy Uno Delgado Ingr N° CIP 154152</li> </ul>				FIRMA:				

*Tito Mallina Cardona*  
 TITO MALLINA CARDONA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 245871

*Paul Chancasampa Padilla*  
 Paul Chancasampa Padilla  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 152281

*Percy Uno Delgado Ingr*  
 Percy Uno Delgado Ingr  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 154152

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS										
TESIS:	"MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO, 2023"									
AUTOR:	Pocornucha Quinte Liz Leydi									
INFORMACION BASICA										
DEPARTAMENTO:	Junin	ESTACION:	PA - 07	Km. Of 200.00						
PROVINCIA:	Huancayo	COORDENADAS:	E: 437835 230	N: 816500835						
DISTRITO:	Chilca	COTA:	3276.390							
FECHA:	01/06/2024	RIO:	Chilca							
HORA INICIAL:	2:40 p.m.	HORA FINAL:	3:20 p.m.	CUENCA/CURSO:	Cuenca Media/Zona urbana					
TRABAJO DE CAMPO										
PARÁMETROS HIDRÁULICOS							PARÁMETROS DE LECHO DE FONDO			
DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	ANCHO DE LA SECCION	ALTO DE LA SECCION	PENDIENTE	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL(Q)	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	AREA DE EXTRACCION	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA
m	m	m	%	m	m/seg	m <sup>3</sup> /seg	m	m <sup>2</sup>	s	kg
0.56	4.50	0.51	0.11	0.32	0.63	0.216	2.25	1	Grava	20 kg
1.12	4.50	0.51	0.10	0.32	0.63	0.162			Grava	
1.69	4.50	0.59	0.11	0.35	0.63	0.210			Grava	
2.25	4.50	0.63	0.11	0.38	0.53	0.189				
2.81	4.50	0.65	0.10	0.39	0.53	0.193				
3.37	4.50	0.67	0.11	0.40	0.57	0.213				
3.93	4.50	0.69	0.11	0.41	0.60	0.299				
Observaciones:										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOS DATOS SON CORRECTOS PARA REALIZAR EL TRABAJO.</li> <li>• Ninguna muestra los datos son correctos</li> </ul>										
Opinión de aplicabilidad:										
<input checked="" type="checkbox"/> (X) Aplicable <input type="checkbox"/> No aplicable <input type="checkbox"/> Corregir										
Información del Profesional evaluador:		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ing. Tito Mollina Dapcho</li> <li>• Ing. Paul Chancasampra Pallas</li> <li>• Ing. Percy Lina de la Cruz Inga</li> </ul>			N° CIP: 29584 N° CIP: 155281 N° CIP: 151182		FIRMA:			

*Tito Mollina Dapcho*  
 TITO MOLLINA DAPCHO  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 29584



*Paul Chancasampra Pallas*  
 Ing. Paul Chancasampra Pallas  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 155281




*Percy Lina de la Cruz Inga*  
 Percy Lina de la Cruz Inga  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 151182

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS										
TESIS:	"MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA-HUANCAYO 2023"									
AUTOR:	Pocumucha Quinte Liz Leydi									
INFORMACION BASICA										
DEPARTAMENTO:	Junin	ESTACION:	pa-05	0+900 00 Km						
PROVINCIA:	Huancayo	COORDENADAS:	E 477160.238	N 866494.50						
DISTRITO:	Chilca	COTA:	3233.400							
FECHA:	01/08/2024		RIO:	Chilca						
HORA INICIAL:	3:30 pm	HORA FINAL:	CUENCA/CURSO: Cuenca Media/Zona urbana							
TRABAJO DE CAMPO										
PARÁMETROS HIDRÁULICOS							PARÁMETROS DE LECHO DE FONDO			
DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	ANCHO DE LA SECCION	ALTO DE LA SECCION	PENDIENTE	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACION	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL(Q)	DISTANCIA DEL PUNTO INICIAL	AREA DE EXTRACCION	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA
m	m	m	%	m	m/seg	m3/seg	m	m2	s	kg
0.55	4.38	0.55	0.03	0.55	0.93	0.313	2.19	↓	Chopras	20kg
1.10	4.38	0.63	0.02	0.36	0.80	0.270			Gravas	
1.64	4.38	0.72	0.03	0.43	0.67	0.263			Piedra	
2.19	4.38	0.79	0.04	0.47	0.63	0.274				
2.74	4.38	0.77	0.03	0.46	0.63	0.264				
3.29	4.38	0.75	0.03	0.75	0.60	0.247				
3.84	4.38	0.73	0.03	0.49	0.70	0.243				
Observaciones:										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOS DATOS SON CONSERVADOS, ADICIONALMENTE SE CONSERVARE DEL MODELO</li> <li>• Ninguna Objección, los datos son correctos</li> </ul>										
Opinión de aplicabilidad:										
<input checked="" type="checkbox"/> (X) Aplicable <input type="checkbox"/> ( ) No aplicable <input type="checkbox"/> ( ) Corregir										
Información del Profesional evaluador:		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ing. Tito Melina Capola N° OIP 24587</li> <li>• Ing. Pita Charcasanampa Pacheco N° OIP 135281</li> <li>• Ing. Percy Lino De la Cruz Lugo N° OIP 136132</li> </ul>				FIRMA:				

  
 TITO MELINA CAPOLA  
 INGENIERO CIVIL  
 OIP N° 24587



  
 Ing. Pita Charcasanampa Pacheco  
 INGENIERO CIVIL  
 OIP: 135281



  
 Percy Lino De la Cruz Lugo  
 INGENIERO CIVIL  
 OIP N° 136132





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

LIMITE DE CONSISTENCIA ASTM - 4318	
<b>PROYECTO:</b>	* MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA - HUANCAYO, 2023*
<b>SOLICITANTE:</b>	TOCONOGUZA QUINTE LIZ LEYDI
<b>UBICACION:</b>	HUANCAYOCUTILCA
<b>IDENTIFICACION:</b>	Punto Años-01
<b>PROF (m):</b>	0.00 m. - -1.50m
<b>CANTIDAD:</b>	5 KG.APROX.
<b>ESTADO:</b>	Normal
	Agosto-24
	*MUESTRA: M-01 PROGRESIVA: 0+000

LIMITE DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO (ASTM D - 423)	LIMITE PLASTICO (ASTM - 424)	
SUELO HUMEDO + TARA			
SUELO SECO + TARA			
PESO DEL AGUA			
PESO TARA			
SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			
NUMERO DE GOLPES			

LIMITE LIQUIDO                    **NP**  
 LIMITE PLÁSTICO                **NP**  
 INDICE DE PLASTICIDAD        **NP**

### CURVA DE FLUIDEZ



LABORATORIO DE INVESTIGACION  
 EN SUELOS - FIC UNCP  
*[Signature]*  
 Ing. Carlos Paredes Millaquito

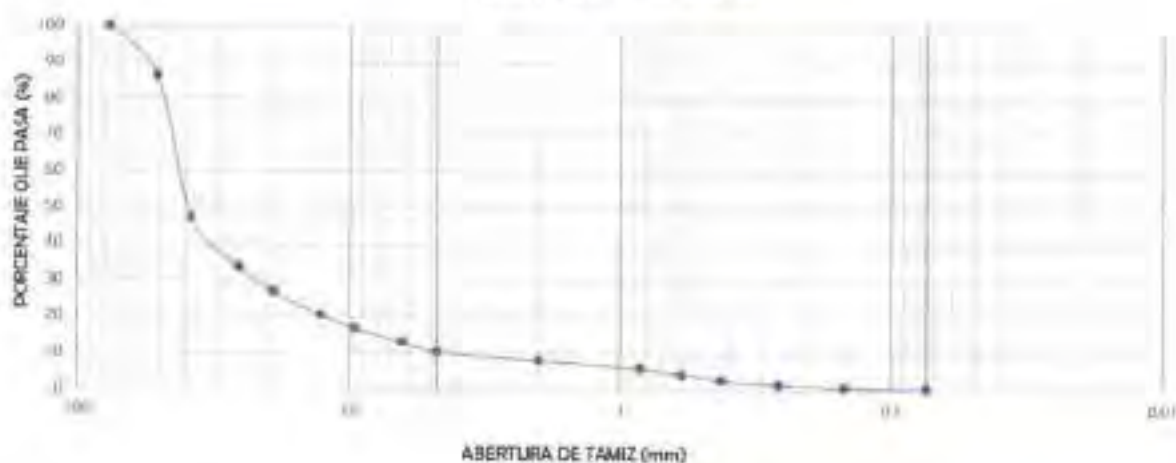


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMBIZADO**  
**ASTM - 422**

<b>PROYECTO:</b>	* MEMBRO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECTO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023*					
<b>SUBESTACIÓN:</b>	POCURECHA QUINTE MILEYDI					
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO, CHILCA					
<b>IDENTIFICACIÓN:</b>	PA-02					
<b>PROFUND:</b>	0.80 m. - 1.50m.		<b>SIEMBRA: M-02</b>			
<b>CANTIDAD:</b>	5 KILOGRAMOS		<b>PROBATORIO: A-250</b>			
<b>USUARIO:</b>	Santoni					
Ago-24						
TAMIZ AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO RETENIDO (%)	ACUMULADO QUE PASA (%)	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO DE LA BANDEJA 405.80
2"	50.800	652.50	51.30	15.70	86.30	PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA TRUMEDA (g) 570.80
1 1/2"	38.100	1033.10	35.38	55.08	46.92	PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA (METAL) (g) 5362.40
1"	25.400	259.00	17.44	65.52	31.48	PESO DE LA MUESTRA SECA LAVADA (g) 4761.90
3/4"	19.000	321.80	6.70	75.20	26.72	LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D422-D424) LL: 26.84 LP: 22.68 IP: 3.70
3/2"	12.500	386.70	6.31	79.50	20.41	
3/8"	4.750	175.30	3.68	83.27	16.73	
1/4"	6.350	173.30	3.68	86.95	13.05	
1/8"	4.750	128.70	2.70	89.65	10.35	
Nº20	2.000	104.80	2.28	91.94	8.66	PORCENTAJES GRAYA <#24 89.65% CU 10.00 ARENA <#4 49.36% CC 2.74 FINOS <#200 8.19%
Nº20	0.840	98.00	2.06	94.00	6.00	
Nº30	0.600	85.00	1.79	95.78	4.22	
Nº40	0.420	78.20	1.64	97.42	2.58	
Nº60	0.250	77.90	1.71	98.67	1.37	
Nº100	0.149	79.00	6.82	99.45	0.55	D10 4.72 D30 21.00 D60 41.920 D150 38.97 D300 49.954 D500 56.682
Nº200	0.074	17.10	6.56	99.81	0.19	
FNDO		8.10	0.10	100.00	0.00	
OBSERVACIONES:						
Peso Inicial:		4761.90	100.00			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



LABORATORIO DE INVESTIGACION  
 EN SUELOS - FIC - UNCP  
  
 Edwin Pérez Villalobos







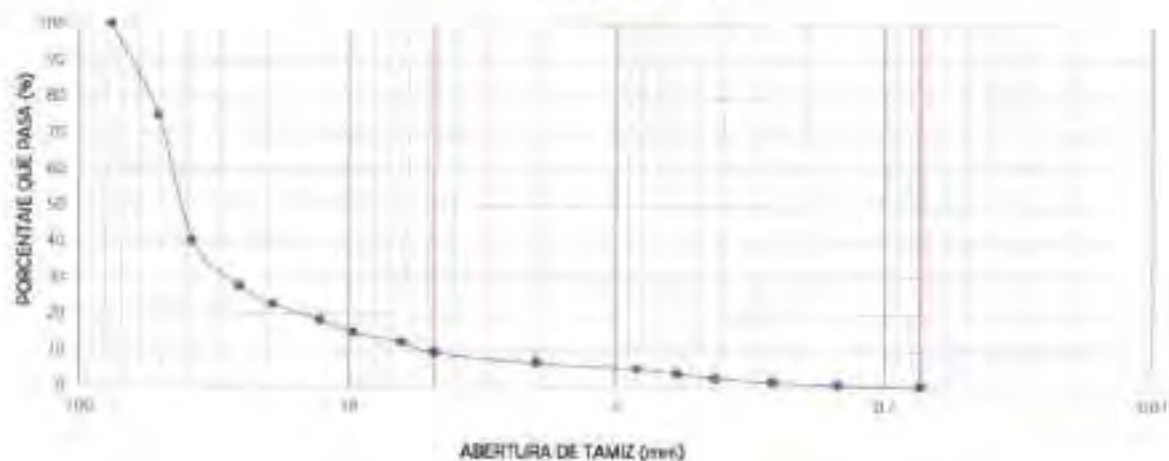


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
**ASTM - 422**

<b>PROYECTO</b>		"ACERDO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE BUDGIDIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LIECRO FLUVIAL DEL RÍO CIBLIKA - HUANCAYO, 2023"					
<b>UBICACIÓN</b>		BAYOMUCHA QUINTE CALLEYDI HUANCAYO, CIBLIKA					
<b>INDICISTA ASIGNADO</b>		PA-08					
<b>DIRIGIDO POR</b>		0.00 m - 1.70m					
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>		1 KG. APROX.					
<b>ESTADO</b>		Sólido					
		<b>MOISTURE</b> : 45.04					
		<b>FINESIMOS</b> : 0.701					
Apr-24							
TAMIZ SÉRIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	ACUMULADO RETENIDO (%)	ACUMULADO QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
						PESO DE LA BANDEJA	
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA HUMEDA (g)	
2"	50.800	99.00	25.19	25.19	74.81	PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA (INICIAL) (g)	
1 1/2"	38.100	131.00	34.51	59.70	40.29	PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA LAVADA (g)	
1"	25.400	478.78	12.57	72.27	27.73	PESO DE LA MUESTRA SECA LAVADA (g)	
3/4"	19.000	186.00	6.00	77.18	22.82	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D423-D424)</b>	
1/2"	12.500	399.00	4.44	81.62	18.38	LL - 50	
3/8"	9.525	121.00	3.28	84.90	15.10	LP - NP	
1/4"	6.350	107.00	2.81	87.71	12.29	P - 50	
Nº4	4.750	105.89	2.78	90.49	9.51		
Nº10	2.000	101.00	2.65	93.14	6.86	<b>PORCENTAJES</b>	
Nº20	0.840	67.50	1.77	94.91	5.09	GRAVA - Nº4	86.40%
Nº30	0.600	31.60	0.86	95.76	4.24	ARENA - Nº4	9.44%
Nº40	0.425	46.00	1.21	97.47	2.53	FINOS - Nº200	0.07%
Nº60	0.250	42.20	1.11	98.58	1.42		
Nº100	0.149	33.40	0.88	99.45	0.55		
Nº200	0.074	18.00	0.47	99.98	0.02	D10	3.996
FINDO		2.90	0.07	100.00	0.00	D30	27.349
						D60	68.003
						D84	41.714
						D94	18.898
						D106	64.870
<b>OBSERVACIONES:</b>							
Peso Inicial :		3808.00	100.00				

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
 EN SUELOS - FIC - UNCP  
 Edwin Peres Vilcapoma



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

LIMITE DE CONSISTENCIA ASTM - 4318		
<b>PROYECTO</b>	7° MODELO DE ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RIO CHILCA - HUANCAYO 2023*	
<b>SOLICITANTE</b>	POCOMUCHA QUINTE LIZ LEYDI	
<b>UBICACION</b>	HUANCAYO, CHILCA	
<b>IDENTIFICACION</b>	PA-04	
<b>PROF (m)</b>	0.00 m - 1.500	
<b>CANTIDAD</b>	5 KG. APROX.	
<b>ESTADO</b>	Natural	
	MUESTRA : M-01 PROGRESIVA : 0+700	
	Ago-24	
LIMITE DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO (ASTM D - 423)	LIMITE PLASTICO (ASTM - 424)
SUELO HUMEDO + TARA		
SUELO SECO + TARA		
PESO DEL AGUA		
PESO TARA		
SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		
NUMERO DE GOLPES		

LÍMITE LÍQUIDO                    **NP**  
 LÍMITE PLÁSTICO                **NP**  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD       **NP**

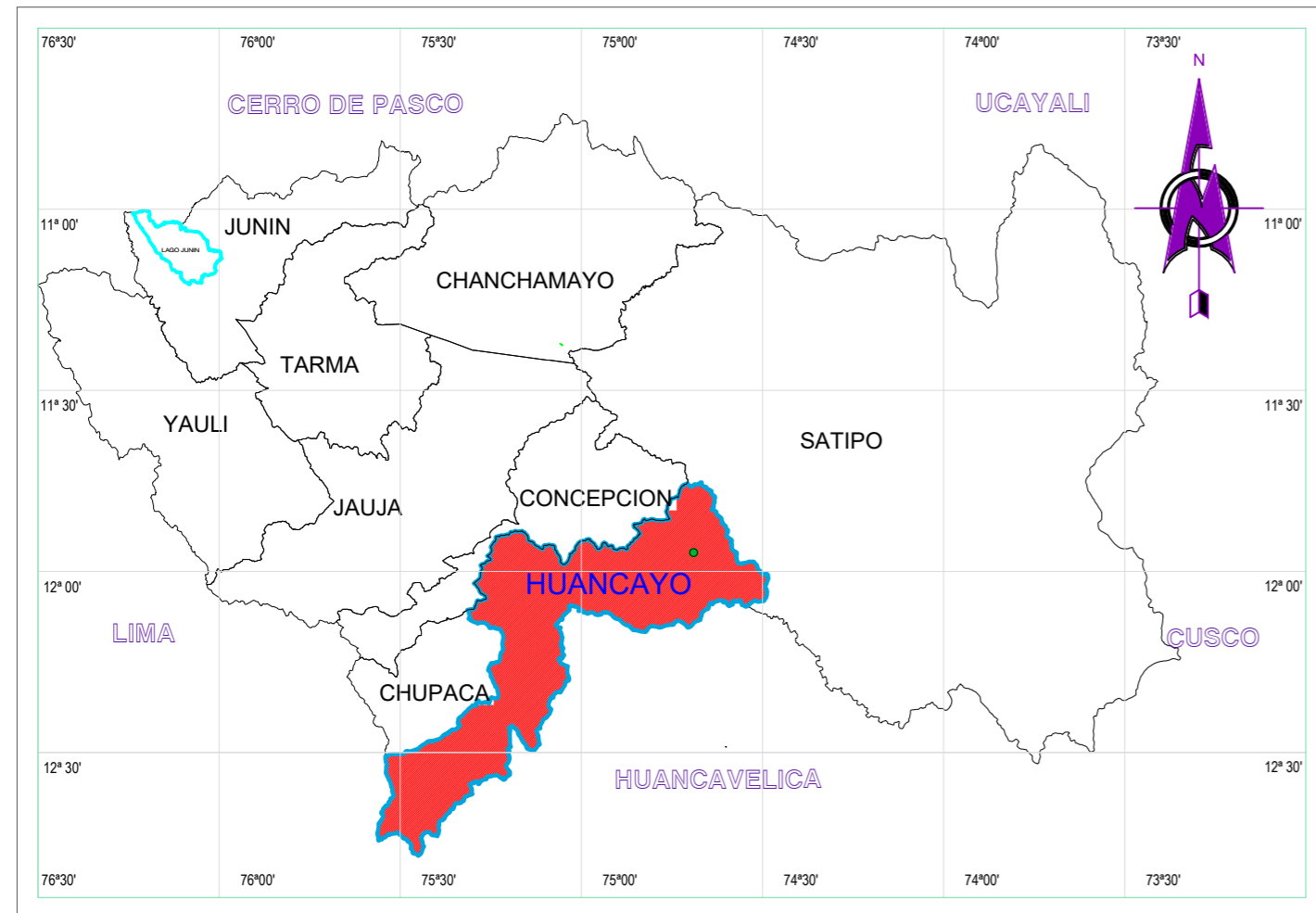
### CURVA DE FLUIDEZ



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
 EN SUELOS - FIC - UNCP  
  
 Edwin Pérez Viscapome



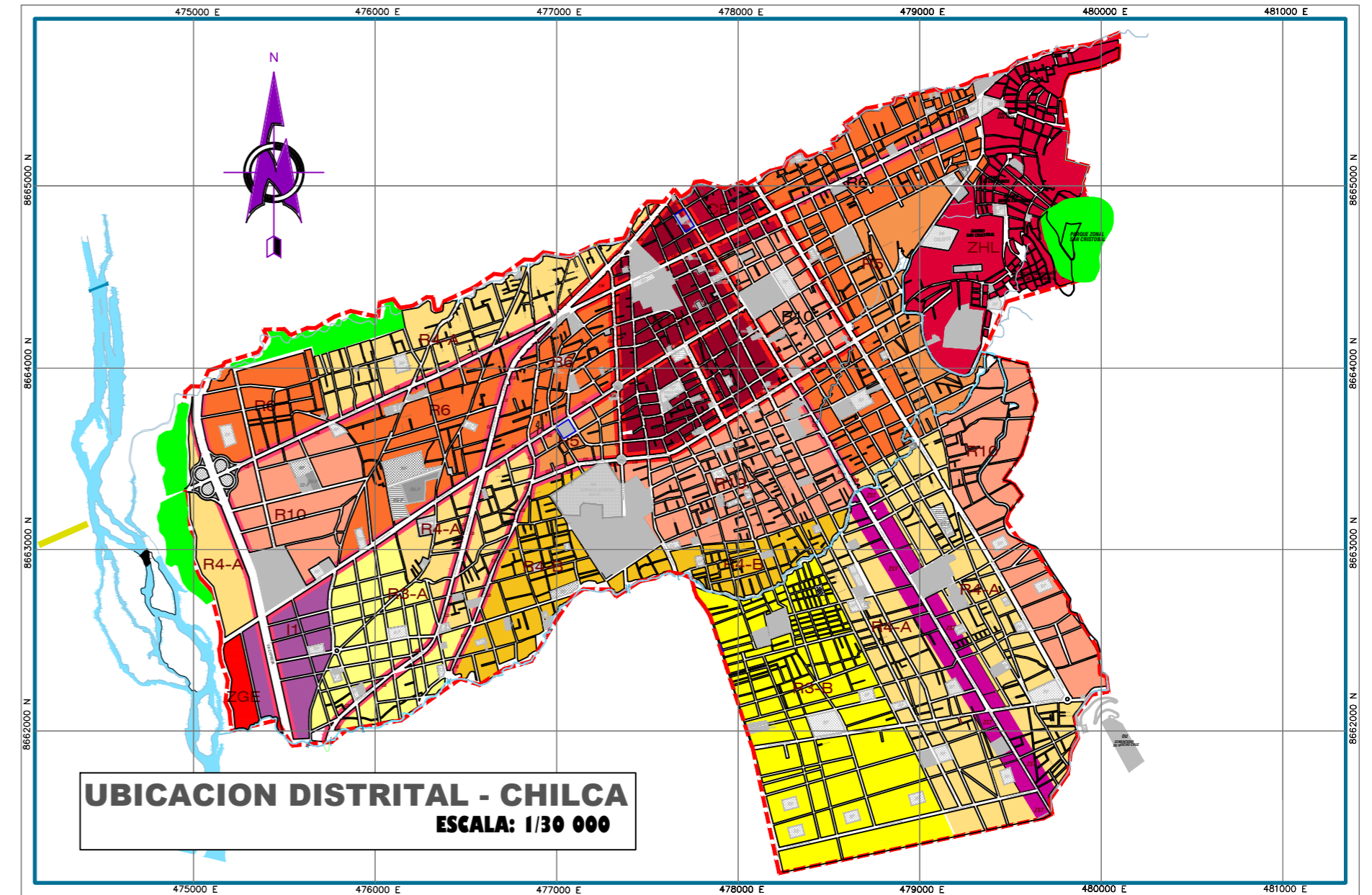




**LOCALIZACION REGIONAL- HUANCAYO**

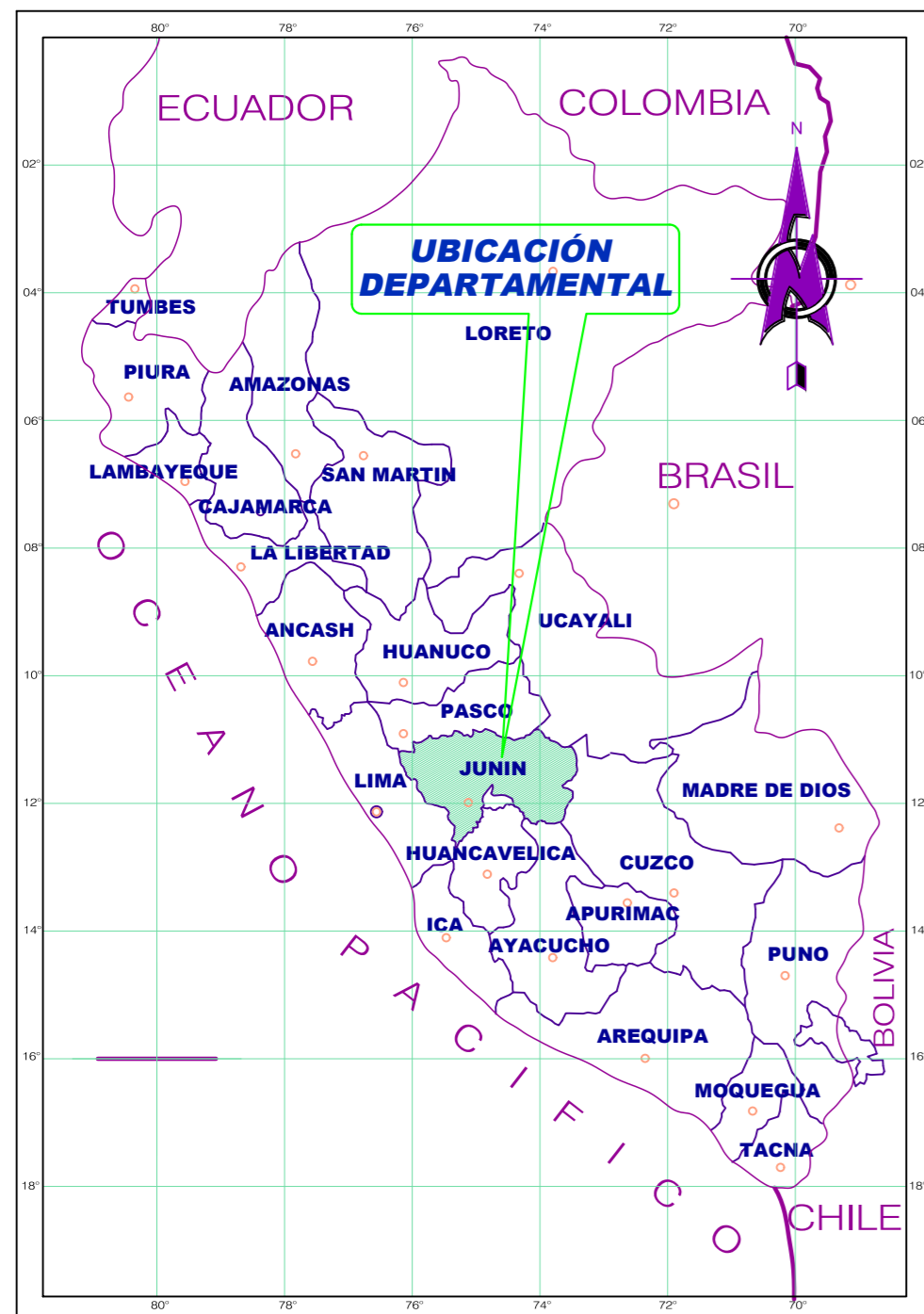
ESCALA: S/E

LEYENDA	
DESCRIPCION	SIMBOLO
Curvas De Nivel	
Rio chilca	
Capital Provincial	
Capital Distrital	
Norte Magnetico	
Localizacion Departamental	
Localizacion Provincial	
Localizacion Distrital	



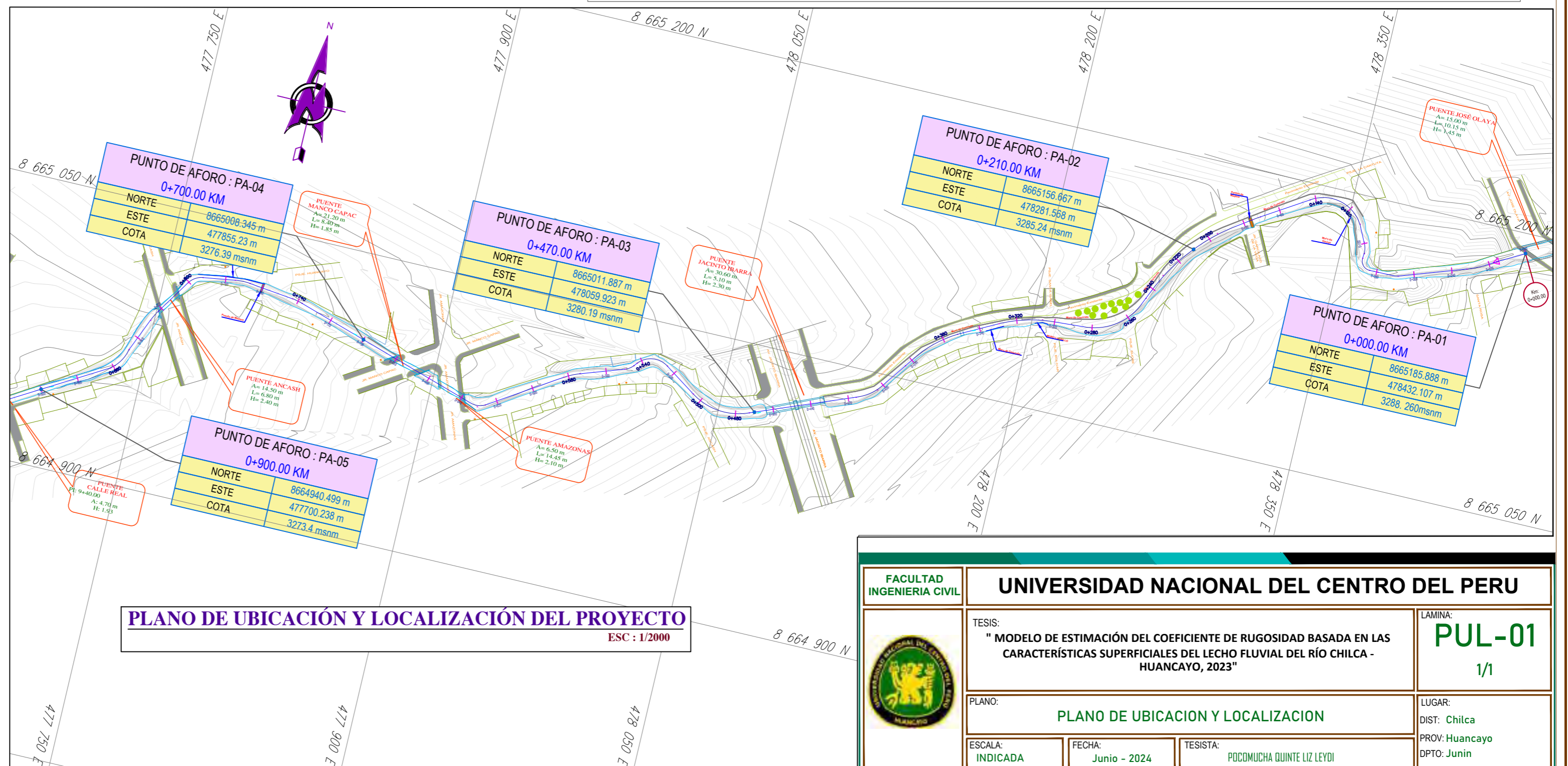
**UBICACION DISTRIITAL - CHILCA**

ESCALA: 1/30 000



**UBICACION DEPARTAMENTAL - JUNIN**

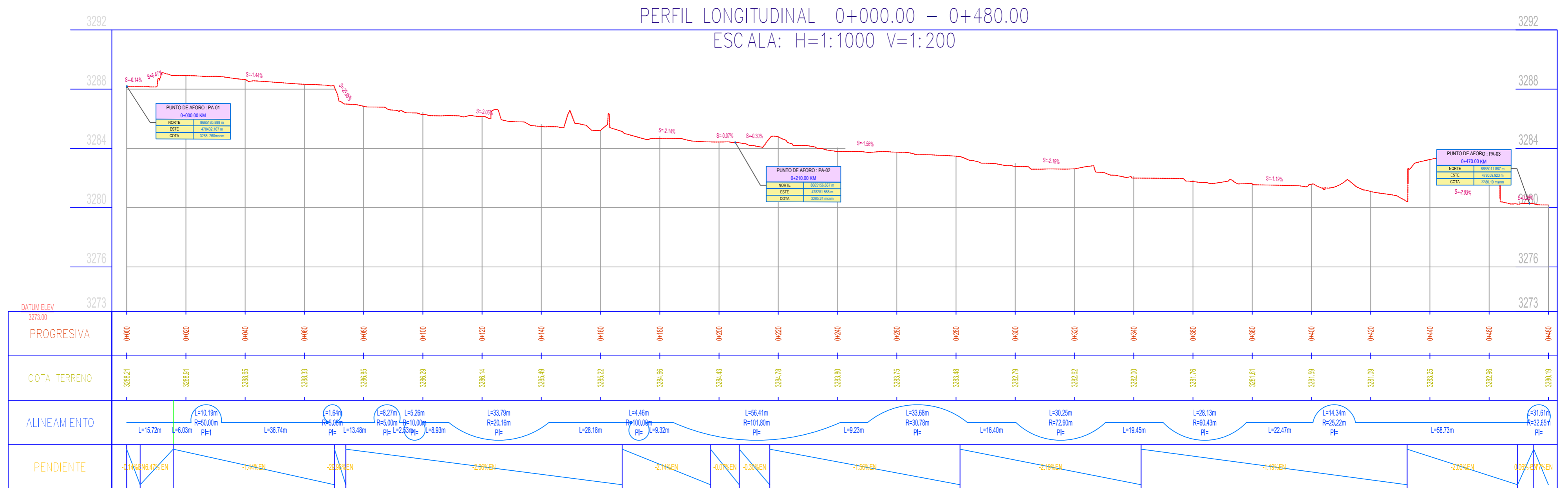
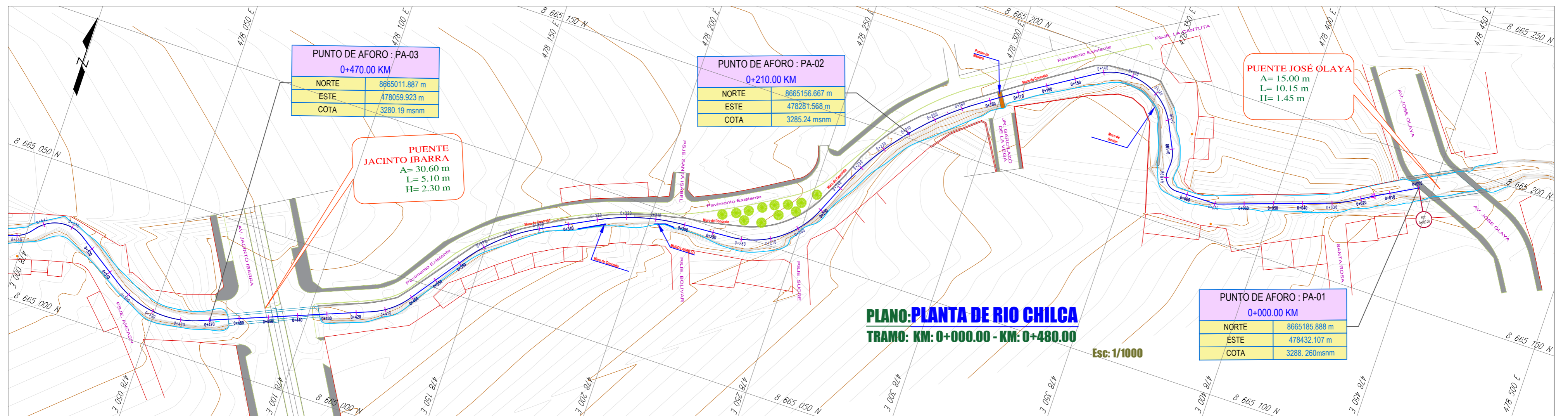
ESCALA: S/E



**PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

ESC : 1/2000

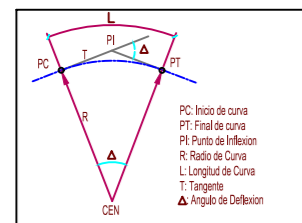
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU</b>	
	TESIS: "MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023"	LAMINA: <b>PUL-01</b> 1/1
PLANO: <b>PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION</b>	LUGAR: DIST: Chilca PROV: Huancayo DPTO: Junin	
ESCALA: INDICADA	FECHA: Junio - 2024	TESISITA: POCOMUCHA QUINTE LIZ LEYDI



**PLANO: PERFIL LONGITUDINAL RIO CHILCA**  
TRAMO: KM: 0+000.00 - KM: 0+480.00

Esc: 1/1000

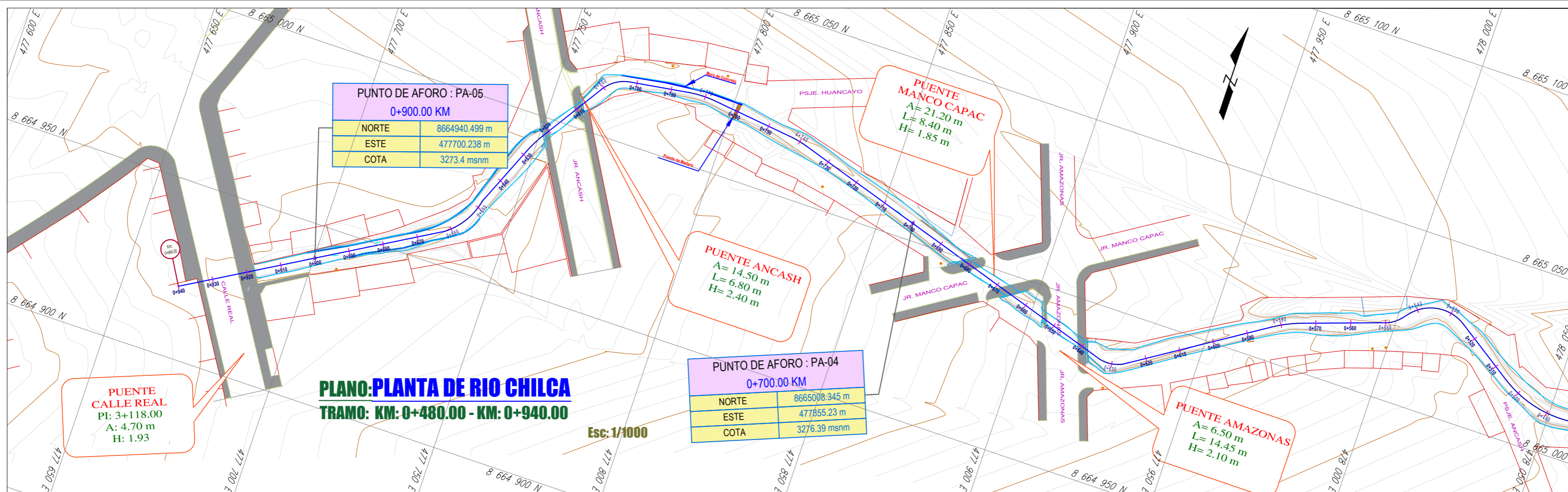
ELEMENTOS DE CURVA CIRCULAR



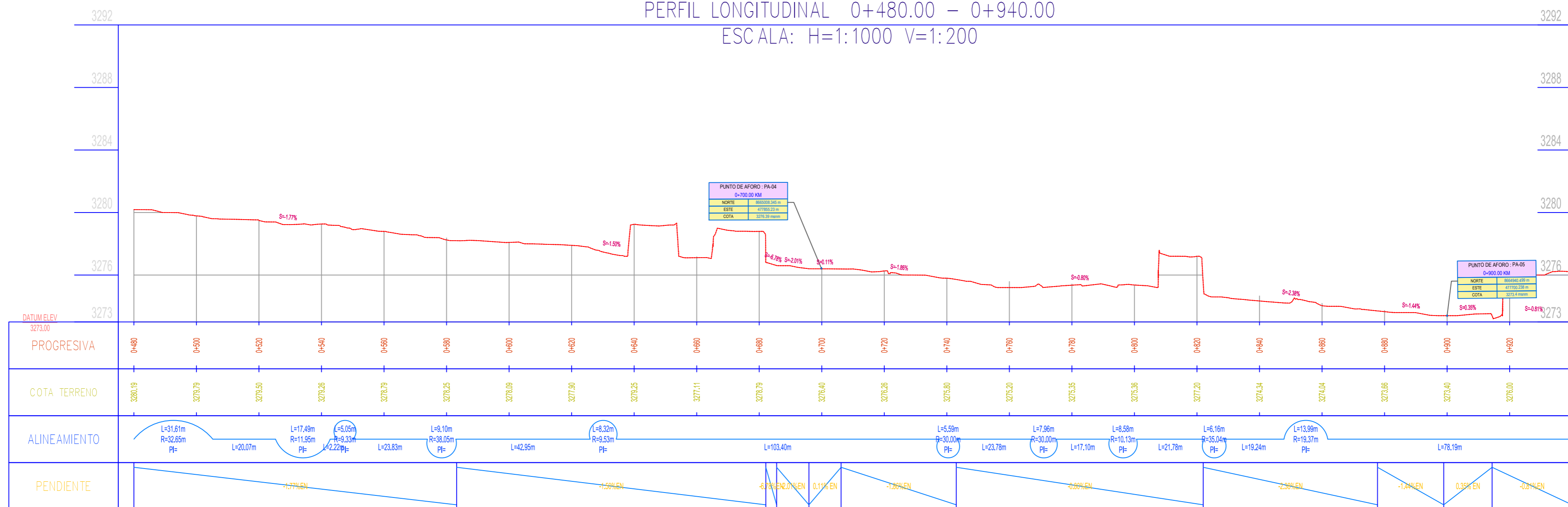
NOTAS:

- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
- ELEVACIONES EN MSNM.
- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.

FACULTAD INGENIERIA CIVIL		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU	
		TESIS : " MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023"	
		LAMINA: <b>PP-01</b> 1/2	
PLANO: <b>PLANO DE PLANTA Y PERFIL KM 0+000-0+480.00</b>		LUGAR: DIST: Chilca PROV: Huancayo DPTO: Junin	
ESCALA: INDICADA	FECHA: Julio - 2024	TESISTA: POCOMUCHA QUINTE LIZ LEYDI	



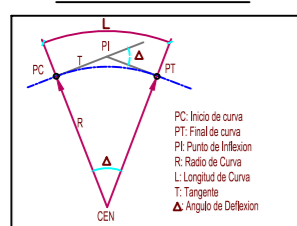
PERFIL LONGITUDINAL 0+480.00 - 0+940.00  
ESCALA: H=1:1000 V=1:200



**PLANO: PERFIL LONGITUDINAL RIO CHILCA**  
TRAMO: KM: 0+480.00 - KM: 0+940.00

Esc: 1/1000

ELEMENTOS DE CURVA CIRCULAR

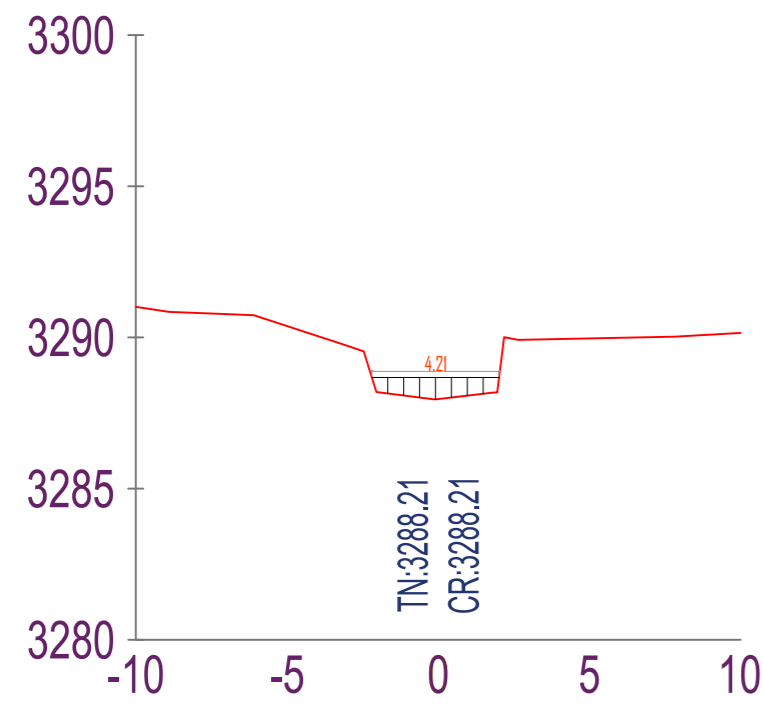


NOTAS:

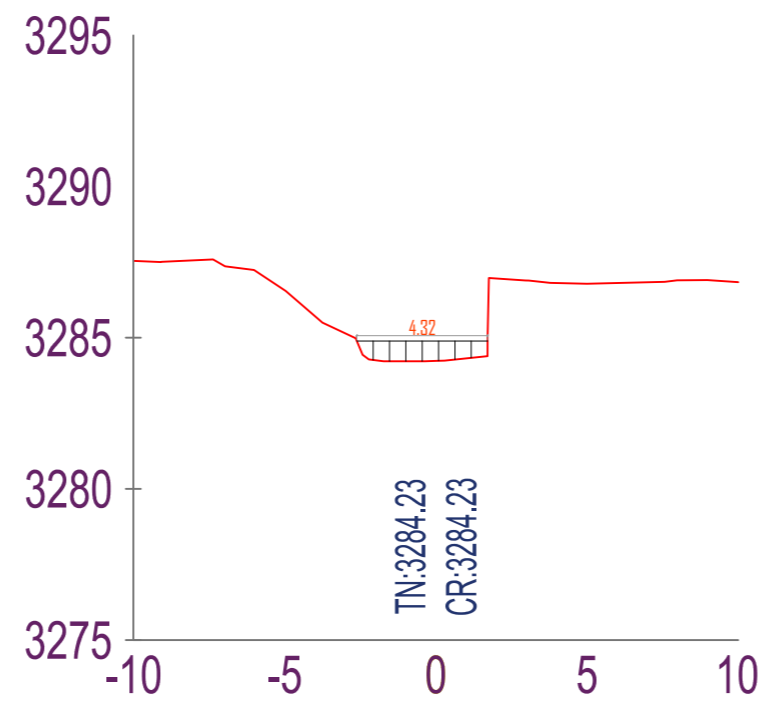
- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
- ELEVACIONES EN MSNM.
- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.

FACULTAD INGENIERIA CIVIL	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU	
	TESIS : " MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023"	LAMINA: <b>PP-02</b> 2/2
	PLANO: PLANO DE PLANTA Y PERFIL KM 0+480.00-0+940.00	LUGAR: DIST: Chilca PROV: Huancayo DPTO: Junin
ESCALA: INDICADA	FECHA: Julio - 2024	TESISTA: POCOMUCHA QUINTE LIZ LEYDI

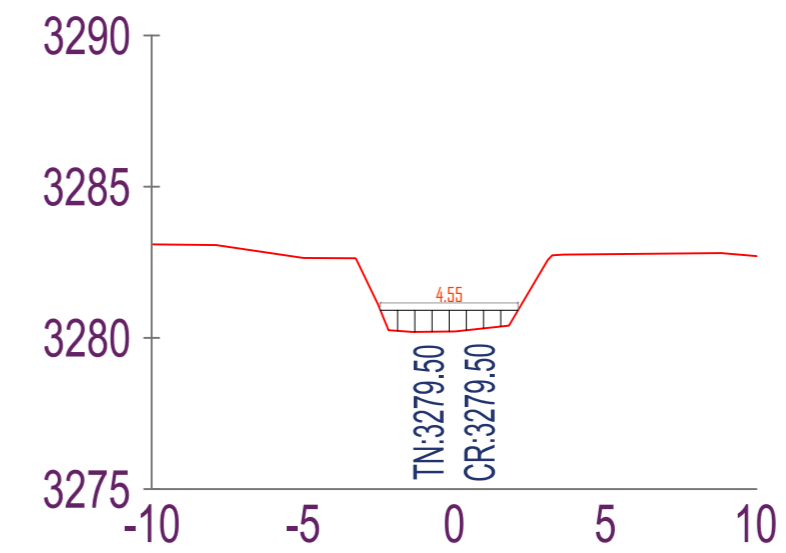
SECCIÓN 0+000.00



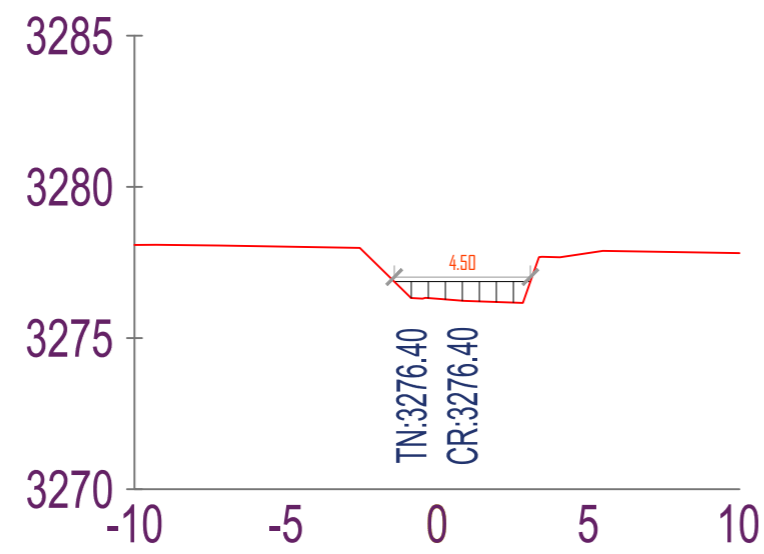
SECCIÓN 0+210.00



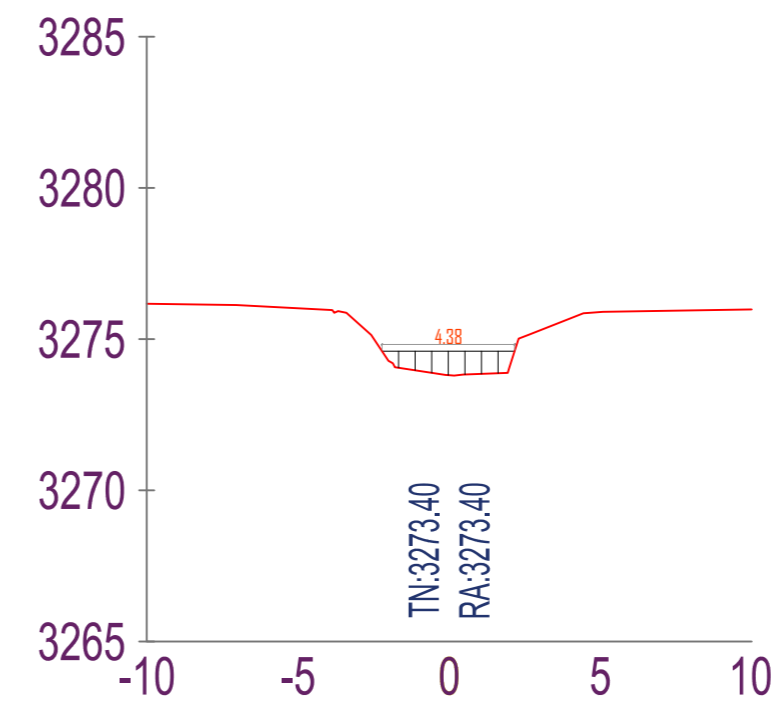
SECCIÓN 0+470.00



SECCIÓN 0+700.00



SECCIÓN 0+900.00



**PLANO:SECCIONES DE INVESTIGACION**

**TRAMO: KM: 0+000.00 - KM: 0+940.00**

Esc: 1/250

FACULTAD INGENIERIA CIVIL		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU	
	TESIS : " MODELO DE ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD BASADA EN LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL LECHO FLUVIAL DEL RÍO CHILCA - HUANCAYO, 2023"		LAMINA: <b>SI-01</b> 1/1
	PLANO: SECCIONES DE INVESTIGACION KM 0+000.00-0+940.00		LUGAR: DIST: Chilca PROV: Huancayo DPTO: Junin
ESCALA: INDICADA	FECHA: Julio - 2024	TESISISTA: POCOMUCHA QUINTE LIZ LEYDI	

## ANEXO 5: Panel Fotográfico

**Figura 43**

*Levantamiento topográfico del Río Chilca*



**Figura 44**

*Equipos de Topográficos como estación total y prismas*



**Figura 45**

*Extracción de muestras en los puntos de aforos Punto de Aforo PA-01*

**Figura 46**

*Extracción de muestras del lecho fluvial del rio chilca en el punto de aforo PA-02*



**Figura 47**

*Extracción de muestras de las piedras, gravas, etc. para ensayo de granulometría del río Chilca en el punto de aforo PA-04.*

**Figura 48**

*Muestras de los 5 puntos de Aforo para el ensayo de granulometría y límites.*



**Figura 49**

*Colocado de muestras al horno para luego realizar ensayos de granulometría*

**Figura 50**

*Ensayo de granulometría en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú.*



**Figura 51**

*Ensayo de límites: Limite Líquido y plástico*

**Figura 52**

*Medición de velocidades con el correntómetro a 0.2y,0.6y a 0.8y.*



**Figura 53**

*Medición de velocidad a diferentes alturas en punto de aforo PA-03.*

**Figura 54**

*Medición de velocidades en el punto de aforo PA-05.*

