

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



Influencia de la macro rugosidad fluvial en el dimensionamiento en las  
estructuras hidráulicas en el río Collana Tarma-Junín

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

Rafael Guillermo Javier Poma Puente

**ASESOR**

Maiquel López Silva

Tarma, Perú

2024

**METADATOS COMPLEMENTARIOS****Datos del autor**

Nombres	Rafael Guillermo Javier
Apellidos	Poma Punte
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	21135512
Número de Orcid (opcional)	

**Datos del asesor**

Nombres	Maiquel
Apellidos	López Silva
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	49087489
Número de Orcid (obligatorio)	<a href="https://orcid.org/0000-0002-0946-6160">https://orcid.org/0000-0002-0946-6160</a>

**Datos del Jurado****Datos del presidente del jurado**

Nombres	Félix Germán
Apellidos	Delgado Ramírez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	22264222

**Datos del segundo miembro**

Nombres	Dayma Sadami
Apellidos	Carmenates Hernandez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	49086915

**Datos del tercer miembro**

Nombres	Pamela María
Apellidos	Cahuana Zavala
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	70236594

**Datos de la obra**

Materia*	Ingeniería de río, programación genética, calibración de modelo, Modelo hidráulico, modelo hidrológico, Coeficiente de Manning
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: <a href="#">enlace</a>	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a>
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: <a href="#">enlace</a>	732016

\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ACTA N° 097-2024-UCSS-FI/TPICIV**

**SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL  
FILIAL: TARMA**

**Los Olivos, 19 de diciembre del 2024**

Siendo las 10:02 horas del 19 de diciembre del 2024, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

**Influencia de la macro rugosidad fluvial en el dimensionamiento en las estructuras  
hidráulicas en el río Collana Tarma-Junín**

Por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

**POMA PUENTE, RAFAEL GUILLERMO JAVIER**

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German	Presidente
Dra. CARMENATES HERNANDEZ, Dayma Sadami	Secretario
Mg. CAHUANA ZAVALA, Pamela María	Miembro

Siendo las 11:15 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

**APROBADO BUENO**

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller POMA PUENTE, RAFAEL GUILLERMO JAVIER el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

En señal de conformidad firmamos,

.....  
Mg. CAHUANA ZAVALA, Pamela María  
Miembro

.....  
Dra. CARMENATES HERNANDEZ, Dayma Sadami  
Secretario

.....  
Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German  
Presidente

**Anexo 2**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Lima, 21 de enero de 2025

Señor(a),

Dayma Carmenates Hernández

Jefe del Departamento de Investigación/Coordinador Académico de Unidad de Posgrado

Facultad Ingeniería UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis, bajo mi asesoría, con título: Influencia de la macro rugosidad fluvial en el dimensionamiento en las estructuras hidráulicas en el río Collana Tarma-Junín, presentado por Rafael Guillermo Javier Poma Puente (Código 2018101495 y DNI 21135512), **CONSIDERO** que la misma se encuentra **APTO** para ser publicado en repositorio.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 11 %**. \* Por tanto, en mi condición de asesor, firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



---

LÓPEZ SILVA, MAIQUEL  
DNI: 49087489  
ORCID: 0000-0002-0946-6160  
Facultad de Ingeniería UCSS

\* De conformidad con el artículo 8º, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8º. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

## AGRADECIMIENTO

A mi madre, Carmen Puente, por su apoyo incondicional en cada decisión que he tomado, por su cariño y comprensión en el camino. A mi padre Julián Poma por enseñarme que siempre debo de mejorar como persona y ser humano, y que debo competir con los mejores, gracias papá que desde el cielo siempre acompañas a la familia.

A mi hermana, Damaris Poma porque soy consciente de que siempre está preocupada por mí. A mi sobrina, Yoselyn Terrones por su colaboración y cariño. A mi tío Víctor Puente compañero de trabajo, que Dios te tenga a su lado. A mi familia en general, por siempre creer en mí y hacerme sentir orgulloso de lo que hago.

A la familia Ramos, por todo el apoyo brindado, don Jorge, doña Carla, eternamente agradecido por todos los consejos.

Al Dr. Maiquel López por inspirarme, ayudarme y aconsejarme durante todo este proceso. A mis hermanos universitarios, por sus recomendaciones, por festejar los momentos felices y acompañar los momentos difíciles. A mis amigos y compañeros de universidad por enseñarme y por los momentos compartidos.

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue determinar la influencia de la macro rugosidad fluvial en el dimensionamiento en las estructuras hidráulicas en el río Collana. La metodología que se utilizó en la investigación fue de carácter explicativo y experimental. En la cual se emplearon 18 modelos semi empíricos, numéricos y programación de expresión genética (GEP). En el análisis de validación se utilizó la raíz del error cuadrático medio (RMSE), error medio absoluto (MAE), error medio porcentual absoluto (MAPE), coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y diagrama de Taylor. Como principales resultados se alcanzaron que el río Collana presentó un coeficiente de Manning promedio de 0.030. Mientras que, el modelo de estimación más preciso fue el GEP con un RMSE de 0.06, MAE de 0.02, MAPE de 0.7,  $R^2$  de 0.94. El principal hallazgo fue que un incremento del 20% del coeficiente de Manning repercute en un aumento del 77% de la profundidad del agua y una disminución de la velocidad del flujo de 134%. En efecto, incrementa al 62% del costo fijo para un muro de gavión en las condiciones específicas del río Tarma. Por tanto, se concluyó que existe una influencia proporcional en la estimación de la macro rugosidad del río y en el dimensionamiento de la estructura hidráulica.

*Palabras claves: Ingeniería de río, programación genética, calibración de modelo, Modelo hidráulico, modelo hidrológico, Coeficiente de Manning.*

## ABSTRACT

The primary objective of the research was to determine the influence of fluvial macro-roughness on the sizing of hydraulic structures in the Collana River. The methodology employed in the study was both explanatory and experimental. Eighteen semi-empirical models, numerical methods, and genetic expression programming (GEP) were utilized. For the validation analysis, the root means square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), coefficient of determination ( $R^2$ ), and Taylor diagram were applied. Key findings revealed that the Collana River had an average Manning coefficient of 0.030. The most accurate estimation model was the GEP, with an RMSE of 0.06, MAE of 0.02, MAPE of 0.7, and  $R^2$  of 0.94. The main discovery indicated that a 20% increase in the Manning coefficient resulted in a 77% rise in water depth and a 134% decrease in flow velocity. Consequently, this led to a 62% increase in the fixed cost of constructing a gabion wall under the specific conditions of the Tarma River. Therefore, it was concluded that there is a proportional influence between the estimation of river macro-roughness and the sizing of hydraulic structures.

**Keywords:** *River engineering, genetic programming, model calibration, hydraulic model, hydrological model, Manning coefficient.*

## ÍNDICE

Contenido	
AGRADECIMIENTO .....	2
RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	4
ÍNDICE .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	16
INTRODUCCIÓN .....	20
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	24
Formulación del problema .....	24
Problema principal .....	26
Problemas secundarios.....	26
Objetivo de la investigación.....	26
Objetivo principal .....	26
Objetivo secundario .....	27
Justificación e importancia de la investigación .....	27
Justificación teórica .....	27
Justificación económica .....	28
Justificación social .....	29

Justificación practica.....	29
Importancia .....	29
Delimitación del contenido.....	30
Línea de investigación .....	30
Campo de investigación.....	30
Limitaciones de la investigación.....	30
Delimitación del área de investigación.....	31
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>33</b>
Antecedentes de investigación.....	33
Antecedentes internacionales.....	33
Antecedentes nacionales .....	34
Bases teóricas.....	35
Parámetros morfométricos .....	35
Parámetros de una cuenca hidrográfica .....	36
Parámetros de forma .....	36
Área (A) .....	36
Perímetro (P).....	37
Longitud del curso principal (L).....	37
Ancho de la cuenca (B).....	37
Desnivel altitudinal.....	37

Coefficiente de compacidad o Gravelious (kc).....	38
Factor forma de Horton (Rf).....	39
Pendiente media del cauce (j).....	40
Parámetro de Shields.....	40
Coefficiente de rugosidad.....	43
Métodos de cálculo del coeficiente de rugosidad .....	46
Método de Cowan.....	46
Método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (S.C.S.) .....	48
Método de medición de velocidad .....	50
Ecuación de Chezy.....	51
Ecuación de Manning .....	52
Fórmulas empíricas.....	52
Modelo numérico.....	57
Programación de expresión genética .....	60
Correlación y regresión.....	62
Error medio absoluto (MAE).....	62
Error medio porcentual absoluto (MAPE).....	62
Raíz del error cuadrático medio (RMSE) .....	63
Coefficiente de determinación ( $R^2$ ).....	64
Correlación lineal simple .....	64

Definición de términos básicos .....	65
<b>CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>66</b>
Hipótesis .....	66
Hipótesis principal o general .....	66
Hipótesis secundarias o específicas .....	66
Variables e indicadores .....	67
Variables independientes .....	67
Variable dependiente .....	67
<b>CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>71</b>
Diseño de ingeniería .....	71
Métodos y técnicas del proyecto .....	72
Enfoque de la investigación .....	72
Alcance de la investigación .....	72
Diseño de la investigación .....	73
Diseño estadístico .....	73
Población.....	73
Muestra .....	74
Técnicas utilizadas en la investigación .....	74
Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	74
Técnicas y herramientas estadísticas .....	75

Normas para la investigación.....	75
Software .....	76
Itinerario de actividades .....	77
<b>CAPÍTULO V. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>79</b>
Factores hidrológicos .....	79
Estimación de caudales .....	83
Métodos empíricos.....	83
Métodos semiempíricos de caudales.....	84
Método racional modificado .....	86
Método de hidrograma unitario sintético.....	86
Criterio de riesgo.....	88
Levantamiento topográfico .....	90
Análisis granulométrico .....	92
Medición física de la velocidad .....	93
Ecuaciones semiempíricas .....	97
Modelo numérico HEC-RAS .....	99
Algoritmos evolutivos de programación de expresión genética (GEP).....	101
Modelo de calibración.....	103
Diagrama de Taylor .....	103
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>105</b>

Resultados .....	105
Levantamiento topográfico .....	106
Parámetros hidrológicos.....	109
Factores morfométricos .....	110
Análisis de consistencia de precipitación .....	111
Análisis de datos pluviométricos .....	114
Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas.....	115
Precipitaciones a diferentes periodos de retorno .....	116
Curvas IDF.....	117
Hietogramas .....	118
Curva número.....	120
Tiempo de concentración.....	121
Estimación de caudales .....	126
Modelamiento en HEC-HMS .....	128
Modelo hidrológico agregado .....	129
Análisis y visualización del efecto de la macro rugosidad fluvial .....	132
Ecuaciones semiempíricas .....	138
Sumersión relativa potencial.....	142
Sumersión relativa – logarítmica .....	146
Modelo numérico.....	153

Desempeño de parámetros hidráulicos .....	185
Modelación de inundación.....	196
Modelo bidimensional .....	199
Algoritmo evolutivo de programación de expresión genética (GEP).....	203
Criterios de desempeño.....	205
Efecto económico del coeficiente de macro rugosidad fluvial .....	206
Diseño de defensa ribereña con Gavión.....	210
Diseño en civil 3D .....	212
Modelo digital de elevación modificado.....	215
Conclusiones.....	222
Recomendaciones .....	224
Referencias Bibliográficas .....	225
ANEXOS .....	241

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación de áreas de cuencas .....	36
<b>Tabla 2</b> Clasificación de Gravelius .....	38
<b>Tabla 3</b> Relación Forma Horton.....	39
<b>Tabla 4</b> Clases de pendiente del cauce (%).....	40
<b>Tabla 5</b> Valores de tabla de Cowan .....	47
<b>Tabla 6</b> Tabla de coeficiente de rugosidad (n).....	48
<b>Tabla 7</b> Operaciones con variables .....	69
<b>Tabla 8</b> Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	79
<b>Tabla 9</b> Valores del coeficiente de escorrentía .....	84
<b>Tabla 10</b> Coeficiente de escorrentía método racional.....	85
<b>Tabla 11</b> Valores de periodo de retorno.....	88
<b>Tabla 12</b> Valores de riesgo admisible de obras de drenaje.....	89
<b>Tabla 13</b> Escala granulométrica.....	93
<b>Tabla 14</b> Protocolo del correntómetro .....	96
<b>Tabla 15</b> Rango de datos.....	102
<b>Tabla 16</b> Puntos de control.....	106
<b>Tabla 17</b> Parámetros geomorfológicos .....	110
<b>Tabla 18</b> Registro de precipitaciones diario máximo.....	112
<b>Tabla 19</b> Análisis estadístico de la serie histórica.....	114
<b>Tabla 20</b> Distribución de mejor ajuste. ....	115
<b>Tabla 21</b> Distribución de mejor ajuste, con su respectivo periodo de retorno.....	116
<b>Tabla 22</b> Precipitaciones máximas corregidas. ....	116

<b>Tabla 23</b> Resumen estadístico.....	122
<b>Tabla 24</b> Resultado de valores semiempíricas de tiempo de concentración .....	125
<b>Tabla 25</b> Caudales máximo modelo empírico.....	126
<b>Tabla 26</b> Resultados máximos de caudales.....	127
<b>Tabla 27</b> Racional modificados máximos caudales. ....	127
<b>Tabla 28</b> Caudales máximos método de HUS .....	128
<b>Tabla 29</b> Caudales máximos método hidrológico agregado semi distribuido .....	130
<b>Tabla 30</b> Percentil granulométrico.....	133
<b>Tabla 31</b> Graduación de granulometría.....	134
<b>Tabla 32</b> Clasificación granulométrica. ....	135
<b>Tabla 33</b> Velocidades en periodo normal. ....	136
<b>Tabla 34</b> Rango de variables hidráulicas. ....	138
<b>Tabla 35</b> Macro rugosidad categoría percentil granulométrico. ....	139
<b>Tabla 36</b> Macro rugosidad sumersión relativo potencial.....	143
<b>Tabla 37</b> Macro rugosidad sumersión relativo logarítmico. ....	147
<b>Tabla 38</b> Desempeño de modelos semiempíricos.....	151
<b>Tabla 39</b> Valores máximos de caudales en el río Collana .....	157
<b>Tabla 40</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ , $n =$ mixto $Tr = 2$ años .....	159
<b>Tabla 41</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ , $n = 0.066$ $Tr = 2$ años. ....	160
<b>Tabla 42</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ , $n =$ mixto $Tr = 10$ años. ....	162
<b>Tabla 43</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ , $n = 0.066$ $Tr = 10$ años. ....	163
<b>Tabla 44</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ y $n =$ mixto, $Tr = 25$ años. ....	165
<b>Tabla 45</b> Valores hidráulicos $n=0.013$ , $n = 0.066$ $Tr = 25$ años. ....	167

<b>Tabla 46</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ , $Tr = 50$ años. ....	168
<b>Tabla 47</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ , $Tr = 50$ años. ....	170
<b>Tabla 48</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ , $Tr = 100$ años. ....	172
<b>Tabla 49</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ , $Tr = 100$ años. ....	174
<b>Tabla 50</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ , $n = \text{mixto}$ y $Tr = 140$ años. ....	175
<b>Tabla 51</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ , $n = 0.066$ $Tr = 140$ años. ....	177
<b>Tabla 52</b> Valores hidráulicos $n = 0.030$ , $n = \text{mixto}$ $Tr = 200$ años. ....	179
<b>Tabla 53</b> Valores hidráulicos $n = 0.013$ , $n = 0.066$ $Tr = 200$ años. ....	180
<b>Tabla 54</b> Resumen de valores hidráulicos de $n = 0.030$ . ....	182
<b>Tabla 55</b> Resumen de valores hidráulicos de modelo $n = \text{mixto}$ . ....	183
<b>Tabla 56</b> Resumen de parámetros hidráulicos $n = 0.013$ . ....	184
<b>Tabla 57</b> Resumen de parámetros hidráulicos $n = 0.066$ . ....	184
<b>Tabla 58</b> Desempeño del área de los modelos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ . ....	185
<b>Tabla 59</b> Desempeño del área de los modelos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ . ....	186
<b>Tabla 60</b> Desempeño del radio hidráulico de los modelos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ . ....	187
<b>Tabla 61</b> Desempeño del radio hidráulico de los modelos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ . ....	188
<b>Tabla 62</b> Desempeño de velocidad de los modelos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ . ....	189
<b>Tabla 63</b> Desempeño de velocidad de los modelos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ . ....	190
<b>Tabla 64</b> Desempeño de tirante de los modelos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ . ....	191
<b>Tabla 65</b> Desempeño de tirante de los modelos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ . ....	192
<b>Tabla 66</b> Desempeño de rugosidad de Manning de los modelos $n = 0.030$ y $n = \text{mixto}$ . ....	193
<b>Tabla 67</b> Desempeño de rugosidad de Manning de los modelos $n = 0.013$ y $n = 0.066$ . ....	194
<b>Tabla 68</b> Resumen de modelos estática y dinámica en 2d. ....	203

<b>Tabla 69</b> Límites y promedio del coeficiente de Manning. ....	203
<b>Tabla 70</b> Coeficiente de eficiencia resultantes de calibración del modelo GEP. ....	204
<b>Tabla 71</b> Dimensionamiento hidráulico de una estructura con gaviones $n = 0.013$ . ....	206
<b>Tabla 72</b> Dimensionamiento hidráulico de una estructura con gaviones, $n = 0.066$ . ....	207
<b>Tabla 73</b> Evaluación de los modelos Macra Studio, HEC-RAS. ....	219

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación del río Collana.....	32
<b>Figura 2</b> Esquema de fuerzas ejercidas sobre una partícula .....	41
<b>Figura 3</b> Gráfico de Shields .....	43
<b>Figura 4</b> Flujograma del diseño de ingeniería .....	71
<b>Figura 5</b> Ecuaciones de curva número, en condiciones secas y húmedas .....	81
<b>Figura 6</b> Dron Phantom 4Pro .....	91
<b>Figura 7</b> Correntómetro Global Water FP 111 .....	95
<b>Figura 8</b> Método del molinete.....	96
<b>Figura 9</b> Diagrama de Taylor.....	104
<b>Figura 10</b> Río Collana.....	105
<b>Figura 11</b> Fotometría del río Collana con dron Phantom 4Pro.....	107
<b>Figura 12</b> Puntos y curvas de nivel del río Collana .....	108
<b>Figura 13</b> Perfil longitudinal.....	109
<b>Figura 14</b> Formato DEM de la microcuenca y frecuencia de las pendientes. ....	109
<b>Figura 15</b> Curvas de intensidad, frecuencia y duración.....	118
<b>Figura 16</b> Hietograma de frecuencia dos años.....	119
<b>Figura 17</b> Hietograma de frecuencia ciento cuarenta años.....	119
<b>Figura 18</b> Hietograma de frecuencia de doscientos años.....	119
<b>Figura 19</b> Promedio ponderado de CN en condiciones normales.....	121
<b>Figura 20</b> Resultados semiempíricos, del Tiempo de concentración.....	122
<b>Figura 22</b> Resultados de prueba de campana de Gauss. ....	123
<b>Figura 23</b> Resultados de la prueba de campana de modificado Gauss. ....	124

<b>Figura 24</b> Modelo hidrológico agregado .....	129
<b>Figura 25</b> Modelo hidrológico agregado, semi distribuido.....	131
<b>Figura 26</b> Percentiles granulométricos. ....	132
<b>Figura 27</b> Análisis estadístico categoría percentil granulométrico.....	141
<b>Figura 28</b> Criterios de precisión de modelo percentil granulométrico. ....	142
<b>Figura 29</b> Variación de macro rugosidad, sumersión relativo potencial. ....	145
<b>Figura 30</b> Análisis cualitativo. ....	146
<b>Figura 31</b> Variación de macro rugosidad sumersión relativo logarítmico.....	149
<b>Figura 32</b> Análisis estadístico .....	150
<b>Figura 33</b> Formato TIN convertir a un formato DEM.....	154
<b>Figura 34</b> Cobertura de suelos de rugosidad estática $n = 0.030$ y dinámica.....	155
<b>Figura 35</b> Cobertura de suelo, modelo estática $n = 0.013$ , $n = 0.066$ .....	156
<b>Figura 36</b> Geometría del modelo base, secciones transversales. ....	158
<b>Figura 37</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 2$ años .....	159
<b>Figura 38</b> Perfil de flujo modelo mixto $n =$ mixto, $Tr = 2$ años. ....	160
<b>Figura 39</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 2$ años. ....	161
<b>Figura 40</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 2$ años. ....	161
<b>Figura 41</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 10$ años. ....	162
<b>Figura 42</b> Perfil de flujo modelo mixto $n =$ mixto, $Tr = 10$ años. ....	163
<b>Figura 43</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 10$ años. ....	164
<b>Figura 44</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 10$ años. ....	165
<b>Figura 45</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 25$ años. ....	166
<b>Figura 46</b> Perfil de flujo modelo $n =$ mixto, $Tr = 25$ años.....	166

<b>Figura 47</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 25$ años. ....	167
<b>Figura 48</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 25$ años. ....	168
<b>Figura 49</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 50$ años. ....	169
<b>Figura 50</b> Perfil de flujo modelo $n =$ mixto, $Tr = 50$ años. ....	169
<b>Figura 51</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 50$ años. ....	171
<b>Figura 52</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 50$ años. ....	171
<b>Figura 53</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 100$ años. ....	173
<b>Figura 54</b> Perfil de flujo modelo $n =$ mixto, $Tr = 100$ años. ....	173
<b>Figura 55</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 100$ años. ....	174
<b>Figura 56</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 100$ años. ....	175
<b>Figura 57</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 140$ años. ....	176
<b>Figura 58</b> Perfil de flujo modelo $n =$ mixto, $Tr = 140$ años. ....	177
<b>Figura 59</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 140$ años. ....	178
<b>Figura 60</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 140$ años. ....	178
<b>Figura 61</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.030$ , $Tr = 200$ años. ....	179
<b>Figura 62</b> Perfil de flujo modelo $n =$ mixto, $Tr = 200$ años. ....	180
<b>Figura 63</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.013$ , $Tr = 200$ años. ....	181
<b>Figura 64</b> Perfil de flujo modelo homogéneo $n = 0.066$ , $Tr = 200$ años. ....	181
<b>Figura 65</b> Calibración de tirante de modelo homogéneo $n = 0.030$ . ....	195
<b>Figura 66</b> Calibración de tirante de modelo $n =$ mixto. ....	196
<b>Figura 67</b> Inundación en un $Tr$ de 140 años. ....	198
<b>Figura 68</b> DEM de la zona de estudio, malla de área de flujo. ....	200
<b>Figura 69</b> Ventana de análisis de flujo inestable. ....	201

<b>Figura 70</b> Perfil de flujo en 2D modelo homogéneo $n = 0.030$ , modelo $n =$ mixto.....	201
<b>Figura 71</b> Inundación en un modelo bidimensional $Tr = 140$ años. ....	202
<b>Figura 72</b> Calibración del modelo GEP.....	205
<b>Figura 73</b> Diagrama de Taylor.....	206
<b>Figura 74</b> Diseño de infraestructura con gavión, $n=0.013$ .....	207
<b>Figura 75</b> Diseño de infraestructura con gavión $n = 0.066$ .....	208
<b>Figura 76</b> Costo de gavión polimac .....	209
<b>Figura 77</b> Relación de costos directos de gavión con diseño de $n=0.066$ , $n=0.013$ . ....	210
<b>Figura 78</b> Diseño de canal con gavión $n = 0.0283$ .....	211
<b>Figura 79</b> Resultados de parámetros hidráulicos $n = 0.0283$ .....	211
<b>Figura 80</b> Curva de caudal $n = 0.0283$ .....	212
<b>Figura 81</b> Zona de punto de inicio de inundación. ....	213
<b>Figura 82</b> Modelado de defensa ribereña en Autodesk Civil 3D.....	214
<b>Figura 83</b> Edición de la superficie incluido el corredor.....	215
<b>Figura 84</b> Detalle de zona modificada del río Collana. ....	216
<b>Figura 85</b> Cobertura de suelos, valores de rugosidad de Manning.....	217
<b>Figura 86</b> Resultado post procesamiento de simulación en HEC-RAS.....	218
<b>Figura 87</b> Sección modificada con referencia del diseño hidráulico $n=0.0283$ .....	219
<b>Figura 88</b> Diseño hidráulico del río Collana en Autodesk Civil 3D.....	220
<b>Figura 89</b> Diseño con gavión, con flujo del río Collana.....	220
<b>Figura 90</b> Zona de estudio con $Tr = 140$ años, con diseño hidráulico de canal.....	221

## INTRODUCCIÓN

La intensidad de los cambios en la dinámica atmosférica es evidente producto al cambio climático (Harris et al., 2023) esto puede provocar, entre otras cosas, una escasez o abundancia de agua en periodos prolongados (Machado & Sotolongo, 2023). Por tanto, existen cambios dinámicos en la hidráulica fluvial, en las regiones de llanuras como de montañas. En este contexto, se requieren diseños basados en soluciones hidráulicas que aborden con continuidad un factor de incertidumbre cubierto por criterios basados en suposiciones teóricas (González et al., 2021). Tal es el caso de los coeficientes Manning ( $n$ ) al estimar la resistencia a la corriente en diseños de infraestructuras hidráulicas son necesarios tener el valor del mismo (Rodas et al., 2023).

No existen estudios que estimen directamente la rugosidad de Manning para los ríos el Perú. En el caso de los estudios hidráulicos se suelen tomar valores a partir de tablas (Chow, 1994), fueron obtenidos en condiciones similares de otros países, pero como las similitudes fueron relativas, sobre todo para ríos con características muy específicas, como este método presenta un grado de subjetividad, tiene el inconveniente de dar un rango muy impreciso de resultados (Díaz et al., 2020).

El propósito de este estudio fue calibrar y obtener una ecuación de coeficiente de rugosidad de Manning (Wasantha, 1995) que se adecue al río Collana clasificado en el orden de cuenca de montaña, donde los arroyos de montaña se distinguen de sus homólogos de bajo gradiente por presentar grandes rocas del mismo orden de magnitud que la profundidad del flujo y por valores bajos de inmersión relativa de granos (Bathurst, 1985). Más del 50% de la población obtiene agua proveniente de las montañas (Gualpa et al., 2022). La rugosidad de Manning es una forma de expresar la resistencia al movimiento del agua en vías fluviales

naturales o artificiales (Ramesh et al., 2000). El coeficiente de Manning se calculó por el método científico se utilizando diferentes métodos como ecuaciones semiempíricas basados en el análisis granulométrico de muestras de material pétreo del río, representada por el percentil granulométrico, estudios donde las observaciones llevaron a determinar que el coeficiente de Manning varía según la ecuación de raíz sexta de la altura de rugosidad "K" y que la rugosidad representó el tamaño promedio del percentil  $d_{50}$  (Strickler, 1923), por otro lado los valores del coeficiente de Manning tienden a ser incrementar en ríos con pendientes elevadas, lechos de rocas y troncos (Jarrett, 1984), algunos investigadores incluyen medidas de descarga como Rh (Jarrett, 1984), clasificaron la rugosidad utilizando los valores relativos de inmersión del grano para caracterizar la rugosidad como a gran escala ( $0 < Rh/d_{84} < 1$ ), a escala intermedia ( $1 < Rh/d_{84} < 4$ ) o a pequeña escala ( $Rh/d_{84} > 4$ ) (Bathurst, 1985). Estudios realizados en el Perú proponen que el coeficiente de Manning por el método empírico de medición de la rugosidad será potencial en función del  $d_{10}$ , en zonas montañosas. (Díaz et al., 2020), La importancia de los diferentes algoritmos de resistencia puede variar en función al lugar, lo que es una parte de la incertidumbre al aplicar ecuaciones semiempíricas basadas en la experiencia a nuevos sitios. En general, la resistencia total se divide en tres partes: grano, forma y derrame (Ferguson, 2007)

Varios investigadores presentaron una técnica numérica para estimar el coeficiente de Manning en el modelado del flujo en aguas poco profundas (Ding et al., 2004). En la simulación hidrodinámica, el modelo HEC-RAS es uno de los programas de modelado de inundaciones más populares. Este modelo fue diseñado para realizar simulaciones de caudales constantes en una dimensión y flujo inestable en dos dimensiones para analizar el caudal de un río. Apoyada en la ecuación de Saint-Venant son las ecuaciones de continuidad y la ecuación dinámica para modelar el flujo en 1D (Shahverdi & Talebmorad, 2023). El uso de una malla computacional es

la base del modelado de llanuras aluviales en 2D. Los detalles espaciales incluyen los tamaños de cada celda de flujo 2D y los valores de rugosidad de Manning (Yazdan et al., 2022).

Mientras tanto, las técnicas de programación genética (GP), automatización general (Raspy-Cal) (Philippus et al., 2021), incluyendo red neuronal artificial de percepción multicapa (MLPNN), método de grupo de manejo de datos (GMDH), modelo de máquina de vectores de soporte (SVM) son nuevas herramientas con alta precisión para predecir la resistencia natural del flujo de los ríos (Yarahmadi et al., 2023a) programación de expresión genética estima bien la resistencia al flujo con un alto grado de precisión en comparación con la fórmula tradicional (Agreste et al., 2021), presenta dificultades como criterios de parada poco claros, entrenamiento y validación del modelo, y la dificultad de identificar soluciones localmente óptimas (Katoch et al., 2021).

La investigación tuvo como objetivo estimar el coeficiente de Manning al flujo utilizando métodos semiempíricos, numéricos (HEC-RAS) y GEP para el diseño de estructuras hidráulicas y la gestión de ríos en zonas de montañosas.

El problema general y específico se presentó en el Capítulo I, Problema de investigación. Se fundamentaron justificaciones teóricas, económicas y sociales, así como los objetivos generales la influencia de la macro rugosidad fluvial sobre el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas y específicos como las características de la cuenca hidrográfica, la macro rugosidad del río Collana, el impacto económico de la macro rugosidad fluvial para proporcionar una explicación general de la relevancia y necesidad de la investigación.

El marco teórico del capítulo II engloba los antecedentes de investigación, así como las bases teóricas y científicas que fueron necesarias para la investigación, como las definiciones de

términos que reflejan las teorías y herramientas avanzadas para el estudio de macro rugosidad en el río Collana.

El capítulo III contiene hipótesis y variables de la investigación, presenta las hipótesis que se pretenden confirmar o negar. Las hipótesis sirven como base para comenzar la investigación al identificar las variables independientes como las dependientes.

El capítulo IV, abarca el diseño de investigación, describe el proceso de diseño de ingeniería del estudio, presenta un orden lógico y cronológico, así como los métodos y técnicas del proyecto necesarios para implementar, incluido el diseño estadístico, técnicas y herramientas.

Los procedimientos de medida de velocidades del cauce del flujo, levantamiento topográfico con un dron, tomas de muestras granulométricas del lecho del río, análisis de los datos obtenidos y el modelamiento en el sistema HEC-HMS, HEC-RAS, ArcGIS Pro, También se utilizaron los softwares RStudio, Saga, Civil 3D, GeneXproTools, MacraStudio1.5 fueron abordados en el Capítulo V Desarrollo Experimental.

Los hallazgos del proyecto de investigación se detallan en el capítulo VI de resultados, conclusiones y recomendaciones, conjuntamente con la explicación teórica, práctica y científica adecuada a investigaciones sobre el tema. Se utilizaron los softwares RStudio, Saga, Autodesk Civil 3D. Se brindan explicaciones sobre las conclusiones en función de la problemática planteada. Se dan recomendaciones para nuevos campos de investigación.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Formulación del problema

La intensidad de los cambios en la dinámica atmosférica es evidente (Harris et al., 2023), en este contexto, se requieren diseños basados en soluciones hidráulicas que aborden con continuidad un factor de incertidumbre cubierto por criterios basados en suposiciones teóricas (González et al., 2021). Tal es el caso de los coeficientes de macro rugosidad fluvial ( $n$ ). Al estimar la resistencia al flujo en diseños de infraestructuras hidráulicas, es necesario tener el valor del mismo, siendo importante para la estimación del caudal de diseño (Rodas et al., 2023).

En la noche del viernes 20 de julio de 2024, en la ciudad de Shangluo (provincia de Shaanxi), ocurrió el derrumbe parcial de un puente en el norte de China, causado por el incremento brusco del caudal del río. El derrumbe ocurrió en el río Jinqian, que fluye bajo la autopista, según reporta la agencia oficial Xinhua, donde al menos 11 personas murieron por el derrumbe (RPP Noticias).

Se analizaron 72 incidentes de averías en puentes en Ecuador, documentados desde el 2000 hasta el 2022. Para determinar las causas principales del derrumbe parcial o completo de los puentes estudiados, se llevó a cabo un estudio y valoración del perjuicio en la estructura, a través de datos difundidos públicamente. El 47% de los casos analizados corresponden a puentes de concreto, el 40% se refiere a construcciones de acero y el 13% restante a puentes de madera. Los motivos más comunes de averías en puentes fueron el aumento de ríos, sobrecargas e impactos. Las inundaciones junto con la socavación, aportaron al máximo número de fallos con un 46% de todas las averías (Marín & Maldonado, 2022).

El domingo 21 de enero de 2018, La Perla y Cantagallo en los distritos San Juan de Lurigancho-Chosica (Lima) fueron afectados por la erosión del río Rímac. Además, por las fuertes lluvias de la cuenca central, el río Rímac aumentó su caudal. El Instituto Minero, Metalúrgico y Geológico, a través de la Dirección General de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos, ha encargado una brigada especializada en peligros geológicos en la zona y sus causas para analizar los problemas de erosión fluvial con origen en las zonas de La Perla y Cantagallo. Esto ayudará a las autoridades competentes a prevenir y reducir los riesgos de desastres en el área evaluada. (Chambi & Juárez, 2018)

Como resultado de las intensas precipitaciones registradas en la región, el 19 de marzo de 2023, a las 06:00 horas, se derrumbaron viviendas en el distrito de Tarma, provincia de Tarma (INDECI, 2023).

No existen estudios que estimen directamente la macro rugosidad de Manning para los ríos en el Perú. En el caso de los estudios hidráulicos, se suelen tomar valores a partir de tablas (Chow, 1994), obtenidos en condiciones similares de otros países, pero como las similitudes son relativas, sobre todo para ríos con características muy específicas, este método presenta un grado de subjetividad y tiene el inconveniente de obtener un rango muy impreciso de resultados. Este es el caso del río de montaña con sus características geográficas (Díaz et al., 2020).

Es indispensable saber las características hídricas e hidrológicas del río donde se ejecutará la obra hidráulica. Sin embargo, no se ha logrado obtener una ecuación que satisfaga las propiedades de los flujos de rugosidad. El coeficiente de macro rugosidad se ve alterado por distintos factores como forma, caudal, obstrucciones, sección transversal (Chow, 1994).

El MTC “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” recomienda valores para la estimación de la macro rugosidad fluvial, como dichos valores se ven afectados por distintos factores externos asociados como son vegetación, geomorfología y características geométricas

todas propias de los cauces naturales, el método de Cowan (Ministerio de Transporte y Comunicación, 2011).

ANA en el manual “Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos” en la sección diseño de secciones hidráulicas, la ecuación de macro rugosidad fluvial que proponen a utilizar es la de Manning o Strickler, además muestra una tabla con valores de rugosidad de superficies para tener en cuenta en el diseño hidráulico (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

### ***Problema principal***

¿Cuál es la influencia de la macro rugosidad sobre el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas?

### ***Problemas secundarios***

¿Cuáles son las características de la cuenca hidrográfica y parámetros del río Collana?

¿Cuál es la macro rugosidad del río Collana?

¿Cuál es el impacto económico de la macro rugosidad en las estructuras hidráulicas?

### **Objetivo de la investigación**

#### ***Objetivo principal***

Determinar la influencia de la resistencia al flujo en el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas para el caso de estudio en el río Collana en Tarma, Junín.

### ***Objetivo secundario***

Obtener las características hidrológicas de la cuenca del río Collana.

Estimar la macro rugosidad por modelos semi empíricos, numéricos y programación de expresión genética del río Collana.

Determinar el efecto de la macro rugosidad sobre el costo de las estructuras hidráulicas.

### **Justificación e importancia de la investigación**

#### ***Justificación teórica***

La investigación se enfocó a los análisis estadísticos múltiples de parámetros morfométricos e hidráulicos del río Collana, productos de ecuaciones convencionales y de sistemas geográficos; se aplicarán diferentes métodos de aforos en sistemas fluviales y la estimación del coeficiente de macro rugosidad de Manning.

En la presente investigación, se buscó establecer el coeficiente de macro rugosidad en el río Collana, así como también conocer el comportamiento hidráulico del río y económico del diseño. Se propone dar nuevas teorías, métodos, técnicas estadísticas y algoritmos matemáticos para determinar la obtención de la macro rugosidad en los ríos de montaña.

Con métodos semiempíricos (modelos matemáticos), modelos numéricos (softwares ArcGIS Pro, HEC-HMS, HEC-RAS,) y GEP (programación de expresión genética). Sensibilidad de los resultados mediante la teoría de errores y calibraciones con datos reales.

Por todo lo antes mencionado, la investigación aportó una teoría sólida y concisa que se adecue al sector de investigación.

### ***Justificación económica***

En el campo de diseño de las obras hidráulicas, la zona contará con una ecuación, el algoritmo proporcionará beneficios en hallar un coeficiente de macro rugosidad de Manning acorde a la realidad del lugar, el río Collana que permitirá no se sobre o sub dimensión en los proyectos que se puedan ejecutar en la zona, alcanzando un ahorro en el costo de las obras hidráulicas menor o igual a un 5%.

Se busca colaborar con el limitado progreso de la zona en estudio a través de un correcto dimensionamiento de estructuras hidráulicas, el cual tendrá un impacto directo sobre el costo de dicha infraestructura. La agricultura es una de las actividades económicas importantes de la zona, no solo las viviendas al verse perjudicados por el desborde de dicho río, siendo muchas de ellas elaboradas con adobe y barro el agua ocasionaría el colapso de las mismas.

El Perú un país afectado por fenómenos meteorológicos y ubicarse en el cinturón del fuego lo cual implica que presente constantes movimientos sísmicos el problema de déficit de infraestructuras hidráulicas para contener las inundaciones de cuencas y en muchos casos un mal diseño de las mismas.

En consecuencia, arrastra numerosas pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas económicas, de datos obtenidos del Instituto Nacional de Defensa Civil (2015). La entidad comunicó que 1 900 025 individuos fueron afectados y perjudicados, edificaciones destruidas en un número de 320 032, en detrimento de la agricultura, con pérdidas de 256 535 hectáreas en el periodo de 2003 al 2014, siendo un 4.3% del total de la población.

### ***Justificación social***

El coeficiente de rugosidad calibrada de forma eficiente, con cuyo registro diseñarán obras hidráulicas que repercuten en la protección de la población de la provincia de Tarma, departamento de Junín, estimada en 1 000 habitantes.

La zona contará con estructuras que cumplan con la función para la cual fueron diseñadas, beneficiando a las personas dueñas de viviendas como de terreno de cultivos de 200 ha, protegerá instituciones públicas como colegios, instituto superior, tramo de carretera de 2 km aportando progreso a la calidad de vida y seguridad en la zona de estudio.

### ***Justificación practica***

En la presente investigación de evaluación y generación de una ecuación que se adecue a la zona de estudio río Collana perteneciente a la región de montaña el coeficiente de rugosidad beneficiará directamente a los ingenieros proyectistas, investigadores, agricultores y personas dedicadas al área de hidráulica, durante el proceso de proyectos de infraestructuras hidráulicas, que se realicen en el río Collana.

### ***Importancia***

En la presente investigación de evaluación, calibración y generó una ecuación que se adecue a la zona de estudio río Collana perteneciente a la región de montaña el coeficiente de rugosidad beneficiará directamente a los ingenieros proyectistas, investigadores, agricultores y personas dedicadas al área de hidráulica, durante el proceso de proyectos de infraestructuras hidráulicas, que se realicen en el río Collana.

## **Delimitación del contenido**

### ***Línea de investigación***

Este estudio, de acuerdo con la resolución N°082-2018 de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se enfoca en estructuras, geotecnia y recursos acuáticos.

El propósito de esta línea es innovar en el diseño de estructuras tradicionales y sismorresistentes, con el fin de lograr ahorros y una mayor productividad en los procesos de construcción relacionados, así como una correcta salvaguarda de los recursos acuáticos.

### ***Campo de investigación***

El campo de investigación es el diseño de infraestructuras hidráulicas, el objetivo general de la presente investigación es determinar la influencia de la macro rugosidad fluvial en el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas en el río Collana. Tarma-Junín.

## **Limitaciones de la investigación**

La limitación de la investigación se encontró en los datos de caudales de la zona en estudio, ya que son de periodos muy cortos, no tienen datos continuos mensual y anual los datos son recabados en periodos distantes de la entidad estatal ANA (Autoridad Nacional del Agua) Tarma se encuentran centrales hidroeléctricas en la zona las cuales son reacias a brindar información de datos hidrológicos.

El coeficiente de macro rugosidad de Manning es adimensional; cada valor es válido para la sección donde se obtuvo; por lo tanto, son importantes los análisis hidrológicos de la zona para la obtención de un correcto resultado.

**Delimitación del área de investigación**

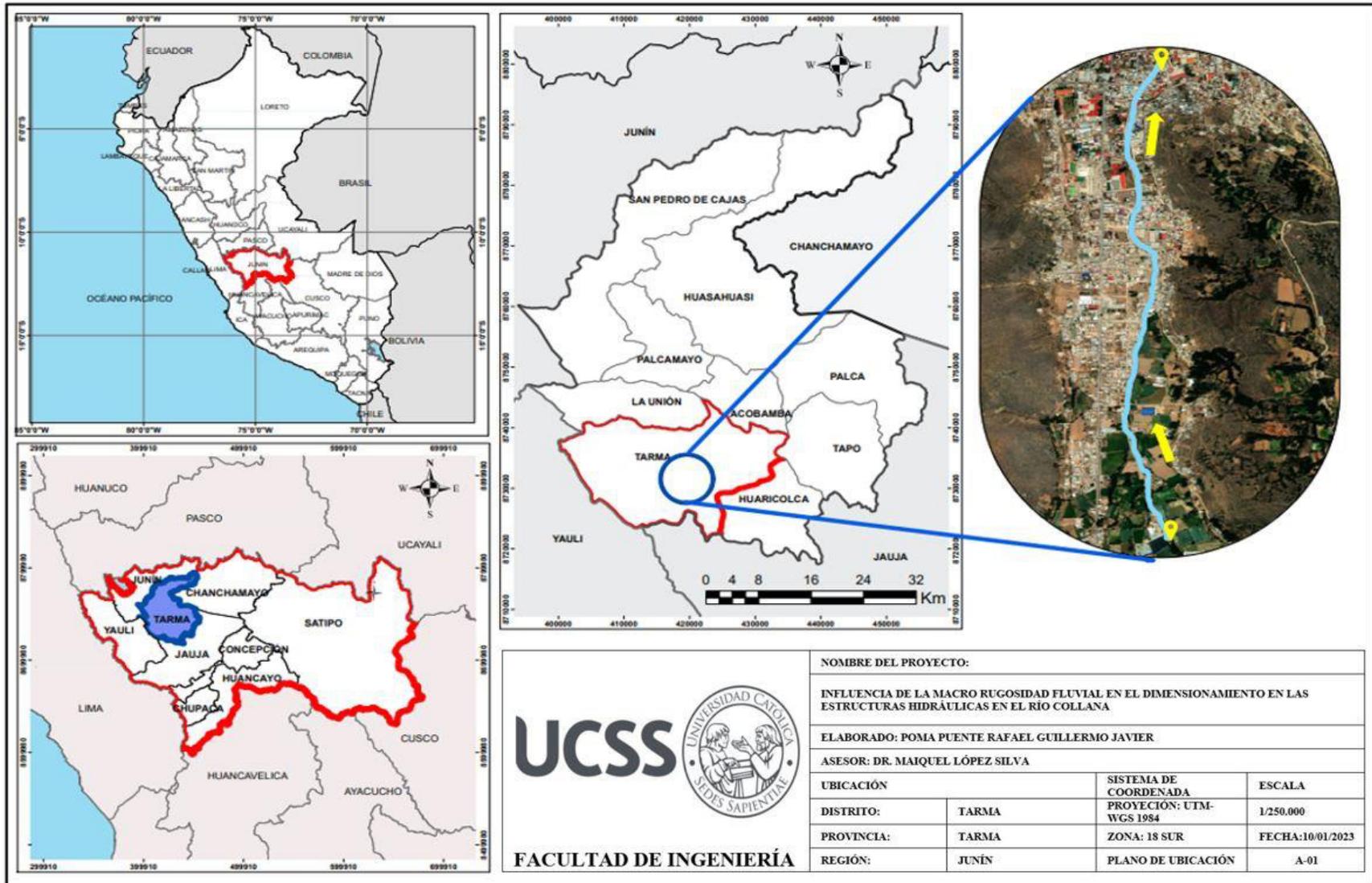
El lugar de estudio se ubica en la provincia de Tarma – Región de Junín, Latitud: 11°25'08" S Longitud: 75°41'23" O altitud sobre el nivel del mar: 3055 m.s.n.m. coordenadas zona UTM: 18L, 424639,16 m E, 8736645 m S, el lugar de estudio abarca una extensión de 1km del río Collana.

El río Collana se ubica en la parte central de la cordillera de los Andes del Perú, en las regiones naturales clasificados por Javier Pulgar Vidal en su Tesis de las ocho regiones naturales de Perú (1938), se encuentra clasificada en la región quechua, con un clima templado.

El río Collana es afluente del río Tarma, la cual es parte del río Perené, el cual es tributario del río Ucayali, el cual se une al río Marañón formando el río Amazonas.

**Figura 1**

*Ubicación del río Collana*



## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes de investigación

#### *Antecedentes internacionales*

Fernández (2022), en su artículo de título: 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, se planteó como objetivo principal estimar el coeficiente de rugosidad utilizando un modelo matemático para la cuenca del río Achiguate-Guacalate, se aplicaron las ecuaciones de Chezy y Manning para obtener un algoritmo para el coeficiente de rugosidad en términos del radio hidráulico “Rh” y la altura de rugosidad “K”. Llegó a concluir que las muestras tomadas de cuencas en tres ubicaciones diferentes, y el percentil promedio  $d_{50}$  como resultado, se propone un modelo  $n=0,091 K^{1/6}$ . Aquí, “K” representa la rugosidad del fondo del canal, se estimó que la rugosidad del río es 0,027.

Rodas et al. (2023), en su artículo de título: Sensibilidad del coeficiente de Manning en la estimación de los niveles de crecida para el mapeo de inundaciones en un río de la región interandina de Ecuador, tuvo como finalidad calcular la sensibilidad del coeficiente de Manning al tipo de cobertura de llanura y lecho de río al calcular los niveles de agua y delimitar áreas inundadas, en este estudio, implementó una sección de 5 kilómetros del río Santa Bárbara en el sur de Ecuador utilizando el modelo unidimensional en HEC-RAS y MIKE 11, concluyó que la calibración estuvo sobre un 94%, siendo considerada como correcta.

Yarahmadi et al. (2023), en su artículo de título: Estimation of Manning Roughness Coefficient in Alluvial Rivers with Bed Forms Using Soft Computing Models, tuvo como propósito el desarrollo de una red neuronal artificial de percepción multicapa (MLPNN) los métodos utilizados fueron modelos de computación suave que incluyen el método de grupo para

procesamiento de datos (GMDH), soporte de modelo de máquina vectorial (SVM) y programación genética, para predecir el n de un río con forma de lecho modelo (GP), los resultados concluyeron que todos los modelos de prueba tienen una precisión aceptable, mientras que en la etapa de validación, el modelo SVM tiene la mayor precisión con un coeficiente de determinación  $R^2=0.99$ .

### *Antecedentes nacionales*

Núñez (2023), en su tesis titulada: “Evaluación de rugosidad de Manning en ríos de alta pendiente - Río Mantaro, Tramo: Puente Matachico - Puente La Breña" para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú, planteó el objetivo de la evaluación de coeficientes de rugosidad en ríos de alta gradiente, se aplicó como metodología el método científico, con un nivel aplicado, explicativo y diseño no experimental. Los resultados obtenidos fueron: La rugosidad media varía entre 0,029, 0,031 y 0,037 para pendientes de 0,0020, 0,0026 y 0,0032.

Sánchez (2023), en su tesis titulada: “Análisis comparativo de coeficientes de rugosidad de Manning estimados in situ en el cauce del río Porcón de Cajamarca y estimaciones mediante cuatro métodos empíricos”, para optar el título profesional de ingeniero hidráulico en la Universidad Nacional de Cajamarca, tuvo como propósito encontrar un valor de coeficiente de Manning y realizar un cuadro comparativo de la misma, para ello ejecuto el método semiempíricos, las fórmulas utilizadas fueron de Jarret, Rickenmann, Phillip y Sauer, realizo el análisis granulométrico, con el fin de tener los datos de percentil del río, los valores promedio obtenidos del coeficiente de rugosidad fueron de 0.081, 0.147, 0.139 y 0.052 estos valores fueron comparados con el coeficiente de rugosidad del río de 0.095.

Cinchay (2021), en su tesis titulada: “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” tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, de la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, tuvo el propósito de comparar los coeficientes de rugosidad obtenidos con la ecuación de Manning con métodos analíticos los métodos utilizados fueron ecuación de Manning, velocidad, altura de rugosidad y medidas de Cowan, utilizando el método de la ecuación de Manning para medir las velocidades y la altura de la rugosidad, no se encontraron valores confiables, los resultados no se adaptaron al río en estudio, con el método de Cowan encontró un modelo polinómico cuadrático con un coeficiente de determinación es 0,9900, el modelo propuesto fue validado por el método de Cowan para proporcionar valores de coeficientes de rugosidad en el área de estudio.

## **Bases teóricas**

### ***Parámetros morfométricos***

Los parámetros morfométricos son el estudio cuantitativo de una cuenca hidrográfica, conducida principalmente a cuantificar las múltiples variables que estandarizan a la cuenca para establecer las posibilidades y restricciones de los recursos naturales (Guevara et al., 2019).

La morfometría de cuencas es una herramienta importante para evaluar el funcionamiento de sistemas hidrológicos regionales (Cruz et al., 2015).

## Parámetros de una cuenca hidrográfica

### *Parámetros de forma*

La forma de la cuenca interfiere de manera importante con las características del hidrograma de flujo de un río determinado, especialmente durante eventos de inundación máximos, especialmente cuando las cuencas de la misma área, pero con diferentes formas, producen un hidrograma.

### *Área (A)*

El área de la cuenca, posiblemente la propiedad morfométrica e hidrológica con mayor relevancia, definida por el fronterizo de las aguas, que permite conocer las dimensiones en unidades de  $\text{km}^2$  (Horton, 1945).

**Tabla 1**

*Clasificación de áreas de cuencas*

Área ( $\text{km}^2$ )	Nombre
< 5	Unidad
5 - 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
> 300	Cuenca

*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de cuencas hidrográficas según tamaño. Tomada de Burgos, 2018.

***Perímetro (P)***

Definida como la longitud en la sección horizontal a lo largo de la cuenca.

Este parámetro mide en unidades de longitud, normalmente expresadas en metros (m) o kilómetros (km) (Smith, 1956).

***Longitud del curso principal (L)***

Representa una línea recta desde la desembocadura hasta el borde de la línea de agua, continuar aproximadamente en dirección al valle principal (km) (Schumm, 1956).

***Ancho de la cuenca (B)***

Menciona que el ancho de la cuenca es la relación entre el área con la longitud axial de la cuenca calculada con la siguiente ecuación (Strahler, 1952)

$$W = A/La$$

Donde:  $A$  es la superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ ),  $La$  es longitud axial de la cuenca (km).

***Desnivel altitudinal***

Según (Riva et al., 2021) define el valor del resultado a partir de la desigualdad entre la cota de mayor valor frente a la cota de menor valor de la cuenca, las unidades que registran dicha diferencia están dadas en metros (m).

$$DA = HM - Hm$$

Donde:  $HM$  es cota máxima (msnm),  $Hm$  es cota mínima (msnm).

***Coefficiente de compacidad o Gravelious (kc).***

Según Castañé et al. (2015) la forma de una cuenca se puede tener como parámetro la circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene un área similar a la cuenca en estudio. La fracción entre el perímetro de la cuenca, es la misma longitud de la divisoria o parteaguas y el perímetro de la circunferencia.

Para cuencas imaginarias exactamente circulares, este coeficiente adimensional tiene un valor de uno, independientemente del área estudiada. El coeficiente de compacidad nunca tendrá un valor inferior a la unidad. La aproximación de este índice a la unidad mostrará la tendencia a aglutinar cantidades significativas de agua en el escurrimiento. Cuanto más cercano a uno sea, más acentuado será el índice, lo que indicará una mayor concentración de agua (Gaspari et al., 2012), siendo la ecuación:

$$Kc = P/(2\sqrt{\pi A})$$

Donde:  $Kc$  es el índice de Gravelius (adimensional),  $P$  es el perímetro de la cuenca (km),  $A$  es el Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

**Tabla 2**

*Clasificación de Gravelius*

<b>Rango</b>	<b>Forma</b>
1 – 1.25	Redonda – oval redonda
1.25 – 1.5	Oval redonda – oval oblonga
1.25 – 1.75	Oval oblonga – rectangular oblonga

*Nota.* La figura muestra la clasificación de cuencas hidrográficas según su forma. Tomada de De et al., 2004.

***Factor forma de Horton (Rf).***

El factor muestra un rango de las formas; cuadrada o alargada, podría presentar la cuenca. Una cuenca con un factor de forma de valor bajo es menos propensa a crecer que una con valor alto.

La fisiografía y la forma de las cuencas hidrográficas de una región están principalmente influenciadas por factores geológicos. Un valor de Rf superior a la unidad indica el grado de ascenso de ella o un río principal corto, y como resultado, tiene una tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa, lo que puede provocar grandes crecidas, es una manera de predecir en un futuro una inundación (Horton, 1945).

$$Rf = A/La$$

Donde:  $Rf$  es factor de forma de Horton (adimensional),  $A$  es el área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ),  $La$  es la longitud axial de la cuenca (km).

**Tabla 3**

*Relación Forma Horton*

<b>Rango de valores</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
< 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ensanchada
0.60 – 0.80	Muy ensanchada
0.80 – 1.12	Rodeando el desagüe

*Nota.* Tomada de los autores De et al., 2004.

### ***Pendiente media del cauce (j)***

El valor de la pendiente media del cauce se conseguía a partir del declive topográfico que se tiene del cauce principal y la distancia del mismo. Es expresado en porcentaje. Al incrementarse la pendiente, aumenta la velocidad del agua por el cauce hidrográfico, lo que ocasiona a presentar mayor erosión y arrastre de materiales (Schumm, 1956).

$$j = DA/L$$

Donde: *DA* es desnivel altitudinal (km), *L* es Longitud del cauce principal en km.

**Tabla 4**

*Clases de pendiente del cauce (%)*

<b>Rango de pendiente</b>	<b>Clases</b>
< 10	Suave
10 – 30	Moderado
> 30	fuerte

*Nota.* La figura muestra los valores agrupados en clase. Tomado de Burgos, 2018.

### ***Parámetro de Shields***

El cálculo del desplazamiento de las partículas se define como la relación entre la fuerza aplicada y el peso sumergido de esta. Para que una partícula del fondo pueda adquirir movimiento, la fuerza que ejerce el agua sobre la misma tiene que ser superior a la fuerza de equilibrio que el peso de la partícula y si entrecruce con otras partículas que se encuentran a su alrededor (Aguirre et al., 2000).

El criterio de Shields es una relación empírica muy general que se aplica a todo tipo de fluidos, flujos y depósitos. Siempre que los depósitos no estén aglomerados, este parámetro se calcula según lo indicado por la ecuación (Cataño & Vélez, 2016).

$$\theta = \frac{\tau}{(\rho_w g (S - 1) d_{50})}$$

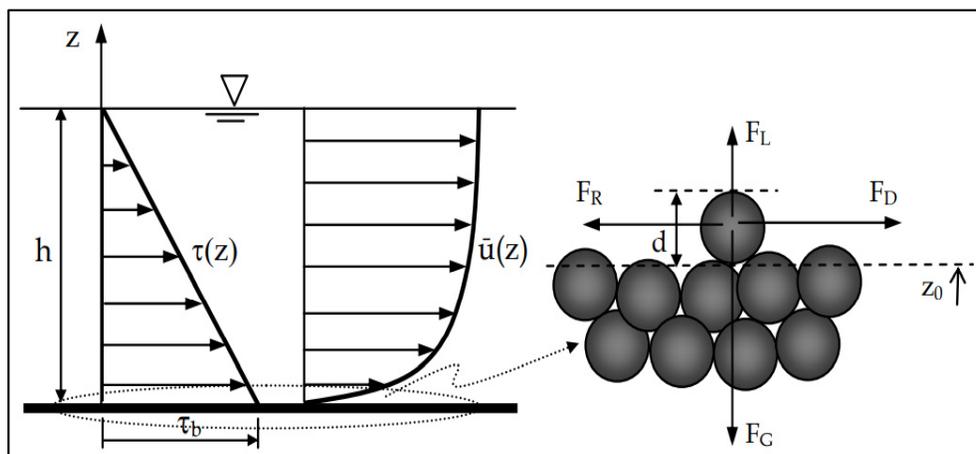
Donde:  $\tau$  es el esfuerzo de corte,  $d_{50}$  es el diámetro del grano,  $\rho_w$  es la densidad del agua,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $S$  es la densidad relativa agua-sedimento.

Las partículas tienden a volverse estacionarias cuando el parámetro Shields cae por debajo de un valor crítico. En valores entre 0,03 y 0,06, las partículas comienzan a moverse girando y saltando, si aumentas un poco más los parámetros, aparecen olas, y en cuanto el valor supera 0,8 a 1, las olas desaparecen y el sedimento del fondo comienza a moverse, este fenómeno se llama flujo en láminas (Sierra & Mendoza, 2005).

Las fuerzas ejercidas sobre una partícula de sedimentos al fondo del lecho del río, permite generar algunas ideas considerables para poder comprender las variables que intervienen en el transporte de las partículas en el cauce del río, el esquema se muestra en la figura 6.

## Figura 2

*Esquema de fuerzas ejercidas sobre una partícula*



*Nota.* Tomado de Basile, 2018.

Donde:  $FG$  es el peso sumergido de la partícula sedimento,  $FD$  es la Fuerza ejercida por la corriente de agua sobre la partícula en dirección paralela al cauce,  $FL$  es la Fuerza ejercida por la corriente de agua sobre la partícula en dirección perpendicular al cauce,  $FR$  es la Fuerza que se opone al movimiento de la partícula.

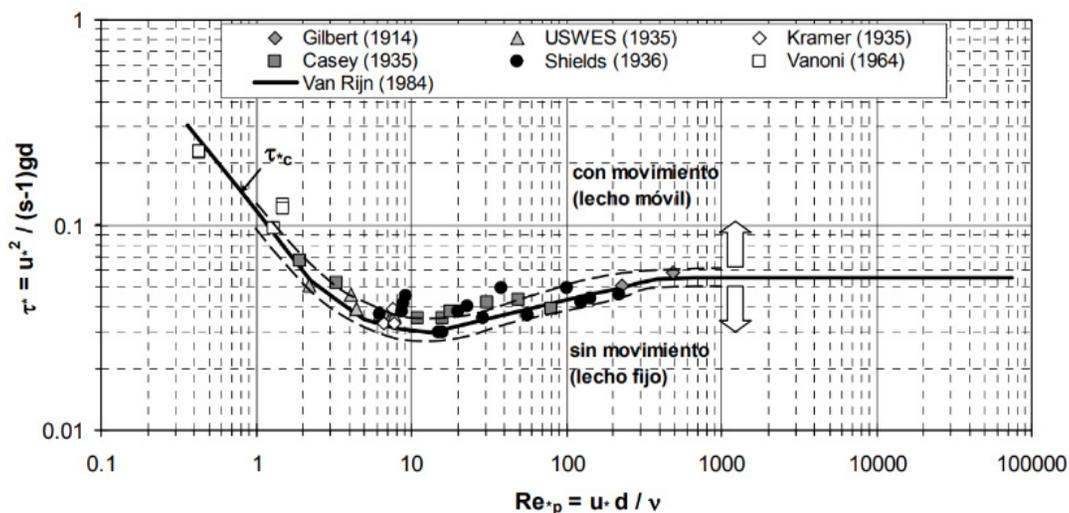
Shields determinó experimentalmente que el valor de la tensión en el fondo es adimensional  $\theta_c$  las partículas de sedimento del fondo comienzan su movimiento, consiguió un gráfico, el cual es conocido como diagrama de Shields (Andrés et al., 2010).

Es importante destacar que la causa del transporte de sedimentos es la fricción y el método habitual para calcular esta contribución es el perfil de velocidad logarítmico, donde el valor de  $k_s$  (rugosidad de Nikladze) sólo concierne al tamaño (Van Rijn, 1993).

Shields experimentó con el principio del movimiento temprano y otros fenómenos asociados con la formación de pequeñas ondas (pliegues) en la formación, la formación de dunas y el momento en que el grano "salta" y finalmente permanece completamente dentro de la formación, el investigador graficó los resultados utilizando curvas límite en función del esfuerzo cortante y el número de Reynolds. Por encima de este valor, las partículas comienzan a moverse, lo que resulta en una deformación de la capa. El área bajo la curva corresponde a una cama con total reposo (Van Rijn, 1993).

Figura 3

Gráfico de Shields



Nota. Tomado de Basile, 2018.

### Coefficiente de rugosidad

Comúnmente se requiere cuantificar el coeficiente de rugosidad hidráulico para determinar el gasto en aplicaciones de canal abierto (Fernández et al., 2018) es el parámetro que determina el grado de resistencia que las paredes del río y el fondo del canal ofrecen al fluido, cuanto mayor es la rugosidad de las paredes y del fondo del canal, mayor será difícil para que el agua fluya, el coeficiente que mayor sea la rugosidad debe ser comprendido como un coeficiente de resistencia dinámica del cauce (Caro et al., 2019).

El coeficiente de rugosidad no es una constante; cambia dinámicamente, las principales fuerzas físicas que controlan el flujo del río son la inercia, la presión, la gravedad y la fricción. Están directamente influenciados por los cambios de rugosidad de la superficie, irregularidad del canal, alineamiento del canal, sedimentación y socavación, obstrucciones, tamaño y forma del canal (Yarahmadi et al., 2023) el nivel y el caudal que circula por el canal son factores

importantes que afectan el coeficiente de rugosidad y, por lo tanto, requieren un análisis especial, a medida que el agua circula por el canal principal y el caudal o nivel aumenta, la macro rugosidad de Manning tiende a disminuir, cambio de estación, material en suspensión y carga del lecho (Kim et al., 2010).

El valor de  $n$  es muy variable y depende de muchos factores, estos factores tienen una influencia significativa en los coeficientes de rugosidad tanto de los canales artificiales como de los naturales, a continuación, consideraremos los diversos factores que influyen en el coeficiente de rugosidad como se describe en *Open Channel Hydraulics* (Chow, 1994).

La rugosidad de la superficie se describe por la forma y el tamaño de las partículas del material, que forman un entorno húmedo y crean un efecto de flujo lento, aunque este se considera como el único factor para la selección del coeficiente de rugosidad se estudian otros factores para mejorar la precisión de la selección, en general, las partículas más finas dan como resultado valores de macro rugosidad más bajos y las partículas más gruesas dan como resultado valores de Macro rugosidad más altos (Ferguson, 2010).

La vegetación reduce de manera notable la capacidad del canal y disminuye el flujo. Este efecto está vinculado a la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación, siendo esencial para el dimensionamiento de infraestructuras hidráulicas (Dawson & Robinson, 1984).

Las irregularidades afectan el grado de humedecimiento y a la variación de su sección transversal en tamaño y forma a lo largo del canal, en los cursos de agua naturales, las irregularidades se producen debido a la presencia de bancos de arena, olas de arena, crestas, depresiones, surcos y colinas en el fondo del canal, los cambios graduales y uniformes en la sección transversal o su tamaño y forma no afectan significativamente el valor de la rugosidad,

pero estos cambios pueden requerir distintos valores de macro rugosidad depende cambios pequeños o grandes de la irregularidad (Dimitriadis et al., 2016).

Un valor bajo de rugosidad se produce por una curva grande con un radio grande, y un aumento en el coeficiente de rugosidad se debe a una curva pronunciada, con meandros severos (Arcement & Schneider, 1989), se realizaron pruebas en laboratorio en canales y sugieren que el valor de rugosidad tiende a aumentar en 0,001 por cada 20 grados de curvatura para 100 pies de conducto, si la curvatura permite la acumulación de sólidos suspendidos, el valor de macro rugosidad puede aumentar más allá de 0,002 o 0,003. En general, aumentar el valor de macro rugosidad en 0,002 constituye una provisión adecuada para la pérdida de curvas en la mayor parte de los canales que contengan curvaturas pronunciadas, sin importar que estén construidos en concreto o en otros materiales (Termini & Moramarco, 2016).

La sedimentación depende de la naturaleza del depósito, como bancos de arena u ondas de arena. Estas irregularidades pueden conducir a un aumento de la rugosidad, convirtiendo canales muy irregulares en canales relativamente uniformes, reduciendo así el factor rugosidad, mientras que el pulido hace lo contrario y reduce el factor rugosidad. Esto depende del material con el que esté conformado el perímetro mojado (Sanz et al., 2021).

La presencia de troncos, pilas de puentes y estructuras similares tiende a incrementar el coeficiente de macro rugosidad. Este aumento depende de las obstrucciones, de la naturaleza, de su tamaño, forma, número y distribución (De Doncker et al., 2009).

### ***Métodos de cálculo del coeficiente de rugosidad***

Debido a su importancia, se han realizado diversos esfuerzos para cuantificar los coeficientes de rugosidad de los ríos de manera objetiva. Entre ellos, un método basado en elementos (Cowan, 1956), método de medición de la velocidad (De Doncker et al., 2009).

Ecuaciones semiempíricas que relacionan el coeficiente de rugosidad con el material del lecho (Strickler 1923; Meyer-Peter y Muller 1948; Keulegan 1938; Bray 1979) (Lang et al., 2004), con la profundidad relativa (Bray 1979; Griffiths 1981; Limerinos 1970) son las más representativas, modelo numérico, modelo de programación de expresión genética (GEP) (Yarahmadi et al., 2023).

### ***Método de Cowan***

Cowan (1956) desarrolló un método para estimar el valor de macro rugosidad de Manning, utilizando la geometría y los parámetros hidráulicos, desarrolló un método para estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning con base en ciertos parámetros del cauce, el valor del coeficiente de rugosidad ( $n$ ) se calcula utilizando la ecuación (Fernández et al., 2018).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

Donde:  $n_0$  = es un valor básico de  $n$  para un canal recto, liso y uniforme,  $n_1$  = rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado,  $n_2$  = rugosidad que se considera para el tamaño y forma de sección transversal del canal,  $n_3$  = rugosidad que se considera para las obstrucciones existentes,  $n_4$  = rugosidad que se considera para las condiciones de flujo y la vegetación existente y  $m_5$  = factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

**Tabla 5***Valores de tabla de Cowan*

<b>Condiciones de canal</b>		<b>Valores</b>
Material involucrado	Tierra	0.020
	Corte en roca	0.025
	Grava fina	0.024
	Grava gruesa	0.028
Grado de irregularidad	Suave	0.000
	Menor	0.005
	Moderado	0.010
	Severo	0.020
Variación de la sección transversal	Gradual	0.000
	Ocasionalmente	0.005
	alterno	0.010 – 0.015
	Frecuentemente alterno	0.010 – 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	0.000
	Menor	0.010 – 0.015
	Apreciable	0.020 – 0.030
	Severo	0.040 – 0.060
Vegetación	Baja	0.005 – 0.010
	Media	0.010 – 0.025

	Alta		0.025 – 0.050
	Muy alta		0.050 – 0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor		1.00
	Apreciable	m	1.150
	Severo		1.300

*Nota.* En función de papel del material del perímetro, la irregularidad, la variación de la sección transversal, el impacto de las obstrucciones, la vegetación y las curvaturas de las plantas.

*Tomado de Hidráulica de Tuberías y Canales,* por Arturo Rocha, 1989.

#### ***Método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (S.C.S.)***

Según Fernández et al. (2018) el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USFS) ha propuesto un método que es similar al método de Cowan, se basa en la misma tabla y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5)$$

#### **Tabla 6**

*Tabla de coeficiente de rugosidad (n)*

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mín.</b>	<b>Nor.</b>	<b>Máx.</b>
<b>C. Excavado o dragado</b>			
<b>a. En tierra, recto y uniforme</b>			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie.	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio.	0.022	0.025	0.030

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mín.</b>	<b>Nor.</b>	<b>Máx.</b>
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
<b>b. En tierra, serpenteante y lento</b>			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
<b>c. Excavado con pala o dragado</b>			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
<b>d. Cortes en roca</b>			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
<b>e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales</b>			
<b>sin cortar</b>			
1. Maleza densas, tan altas como la profundidad de flujo.	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados.	0.040	0.050	0.080
3. Igual nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.140
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
<b>D. Corrientes naturales</b>			

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mín.</b>	<b>Nor.</b>	<b>Máx.</b>
D-1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
<b>a. Corriente en planicie</b>			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.035
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena.	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con mucha malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos.	0.075	0.100	0.150

*Nota.* Tomado de valores de  $n$  de Chow, 1994.

### ***Método de medición de velocidad***

Este método es aplicable a flujos turbulentos e hidráulicamente rugosos con una distribución de velocidades logarítmica; permite obtener el coeficiente de resistencia a través de

la adición de una pendiente de fricción, también llamada gradiente de energía. Velocidad medida a diferentes profundidades (Constain-Aragón et al., 2013) aplicando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(x-1) * d^{1/6}}{6.78 * (x+0.95)}$$

Donde: d: es la profundidad total del flujo en la sección considerada en metros  $X = V_{0,2} / V_{0,8}$ : es la relación entre las velocidades del flujo  $V_{0,2}$  es la velocidad a 0,2 d de profundidad desde la superficie del agua (a 0,8 d desde el fondo)  $V_{0,8}$  es la velocidad a 0,8 d de profundidad desde la superficie del agua.

### *Ecuación de Chezy*

Se ha realizado una cantidad significativa de investigación sobre la resistencia al flujo en los últimos dos siglos. Las ecuaciones iniciales eran empíricas y solo se ajustaban a los datos de los que se derivaron (Jiménez, 2015).

Chezy (1768) fue el primero que desarrolló una ecuación más general que relaciona la velocidad del flujo y las propiedades del canal, esta ecuación se basa en la igualdad entre la fuerza de resistencia al movimiento del fluido y la gravedad, que es típica de regiones homogéneas, por primera vez se han determinado los parámetros de zona de área/perímetro mojada, esta importante relación caracteriza su uso en líneas libres y forzadas, este término se conoció más tarde como radio hidráulico (Ávila, 2002).

Al contrario de lo que algunos han creído, no afirmó en ningún momento que la ecuación era una constante para todas las corrientes. Incluso descubrió diferencias de una corriente a otra (Ávila, 2002).

$$V = CR^{1/2} S_f^{1/2}$$

Donde: C = coeficiente de Chezy, R = radio hidráulico, S<sub>f</sub> = pendiente de energía.

### ***Ecuación de Manning***

La ecuación proviene de la fórmula de Chezy, que se creó para determinar la velocidad de un canal abierto con flujo uniforme. Debido a su simplicidad, esta ecuación resulta ser la más conocida (Jiménez, 2015).

El ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación en 1889 para encontrar el valor del coeficiente de rugosidad (n), que se comportó como un valor constante que solo dependía del límite de rugosidad del canal. Aplicando esta ecuación a más de 100 puntos de datos, encontró que la ecuación y el supuesto de la constante n eran lo suficientemente precisos para satisfacer sus necesidades (Lang et al., 2004).

La ecuación de coeficiente Manning es empírica y se advirtió que se debe usar solo en situaciones que se han probado adecuadamente. Describe el equilibrio entre la fuerza motriz (gravedad) y la resistencia al flujo, representada por el coeficiente de rugosidad de Manning "n" (De Doncker et al., 2009).

$$n = \frac{1 * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{v}$$

Donde: R es radio hidráulico (m), v es velocidad (m/s), S es pendiente hidráulico.

### ***Fórmulas empíricas***

Diferentes ecuaciones que se pueden usar para estimar los valores del coeficiente de Manning. El desarrollo de fórmulas empíricas se basó no solo en el tamaño, la forma y la distribución de granos del material de la cama, sino también en parámetros como la pendiente, el

perímetro mojado, el radio hidráulico y otros. Fórmulas fundamentales que explican la relación entre el coeficiente de rugosidad y el tamaño de grano del sedimento (Dezetter et al., 2022).

Introdujeron el gradiente de energía o gradiente de fricción. Donde el gradiente de fricción corresponde a la pendiente del lecho para un flujo uniforme porque en condiciones de flujo constante (1990) los efectos de la fricción del suelo se equilibran con precisión por la gravedad (Wohl, 1998), por ejemplo algunos investigadores que utilizaron estas condiciones fueron Brownlie (1983), Lacey (1946), Rickenmann (1994), Rice et al (1998).

Autores como Riggs (1976), Bray (1979 y 1982) y Sauler (1990) expresaron la pendiente de la superficie del agua en sus ecuaciones, así como Yocham et al. (2014). Para condiciones de flujo no uniformes, la pendiente del lecho o la pendiente de la superficie del agua debe ser reemplazada por la pendiente de fricción (Kim & Kim, 2010).

Utilizando todos estos parámetros intentamos encontrar la ecuación exacta para cada zona geográfica, existen varias fórmulas empíricas que pueden determinar el valor de macro rugosidad de Manning (Ding et al., 2004), son de tres categorías: la primera categoría se basa en el tamaño del sedimento del cauce; la segunda categoría se justifica por la relación entre la profundidad del flujo (radio hidráulico) y la dimensión del sedimento; La tercera categoría incluye la pendiente del área del agua, el tamaño del sedimento y el radio hidráulico del cauce (Al-Hussein, 2015).

Las categorías de clasificación son:

**Percentil granulométrico.** Strickler (1923) sus investigaciones se encuentran constituidas en materiales pedregosos, la fórmula desarrollada por Strickler permite determinar el coeficiente de rugosidad basándose en la mediana del percentil  $d_{50}$  (Strickler, 1923).

Meyer-Peter & Muller (1948) establecieron que las estimaciones de mediciones del laboratorio corroboran para todos los ensayos la turbulencia desarrollada, argumentando que el más apropiado es utilizar el  $d_{90}$  los datos que obtuvo son más precisos que si utilizara el  $d_{50}$ ,  $d_{90}$  el diámetro (m) del material del lecho, tal que el 90 % en peso es menor. Esta fórmula se aplica para materiales no cohesivos de partículas predominantemente gruesas (Van Rijn, 1993).

Lane & Carlson (1953) la ecuación semiempírica se basó en el percentil granulométrico del lecho del río  $d_{75}$  (Lane & Carlson, 1953).

Henderson (1966) en esta ecuación general unificada de flujo en canal abierto, el canal puede tener una forma de sección transversal arbitraria y alineación con lecho fijo o erosionable, impermeable o permeable, el fluido puede ser viscoso o no viscoso, compresible o incompresible y homogéneo o no homogéneo, el flujo puede ser laminar o turbulento, rotacional o irrotacional, estable o inestable, uniforme o no uniforme, supercrítico o subcrítico, con o sin descarga lateral, con esta ecuación, se examinan los supuestos de flujo en canal abierto utilizados de manera tradicional (Yen, 1973).

Subramanya (1982) la ecuación planteada por el investigador emplea el percentil granulométrico de valor medio, el  $d_{50}$  (Rasooli et al., 2022).

Julien (2002) utilizó ecuaciones empíricas, que son el resultado de variables con exponentes empíricos, para cuantificar estos exponentes, se presentan una gran cantidad de gráficos logarítmicos valiosos con nubes de puntos de datos experimentales; sin embargo, estos puntos se dispersan por un factor de dos o incluso mucho más, estas correlaciones proporcionan una medida de la precisión de los métodos y los validan (Julien & Tuzson, 2003).

**Sumersión relativo potencial.** Lacey (1946), precursor de este tipo de ecuaciones, debería aplicarse para caudal dominante o formativo de ríos de material fino en régimen, ríos en equilibrio dinámico entre caudal líquido, caudal sólido y geomorfología hidráulica. Sin embargo, es práctica común aplicarla a caudales relativamente altos, próximos a la capacidad del cauce principal. En un sentido más amplio, algunos autores se refieren a todas las ecuaciones de resistencia al flujo como ecuaciones de régimen (Lacey, 1946).

Froehlich (1978) señala las condiciones donde son aplicables factores predominantes que retardan el flujo, irregularidades de la sección transversal; variaciones en el tamaño y la forma del canal; condiciones de los bancos con vegetación (Lee et al., 2012).

Bray (1982) propone la ecuación donde el percentil es del rango de  $d_{90}$ , con el percentil  $d_{50}$  Maynard (1991) de fórmulas empíricas de distintas fuentes planteó que con datos obtenidos de los ríos Amarillo y Yangtze identificó que el uso de la partícula  $D_{90}$  dio datos más certeros que las partículas  $d_{50}$  (Bray, 1982).

Brownlie (1983) desarrolló la ecuación del coeficiente de macro rugosidad en la relación de profundidad del flujo en forma de condiciones hidráulicas y características de los materiales del lecho en grandes cantidades de datos de canal y de campo (Brownlie, 1983).

Jarret (1984) desarrolló una ecuación para la  $n$  de Manning a partir de 75 datos obtenidos de 21 secciones de río de montaña ( $S_o=0.002-0.039$ ) con gravas, cantos y bolos, obtiene una ecuación a partir de una regresión múltiple, las condiciones experimentales de la ecuación corresponden a un flujo subcrítico casi uniforme utilizando el gradiente de energía y el radio hidráulico mediante el estudio de diferentes arroyos de montaña. Esta ecuación es aplicable a canales con gradientes de energía de 0,002 a 0,09 y radios hidráulicos, introdujeron una pendiente de fricción, también llamada gradiente de energía (Jarrett, 1984).

Bruschin (1985) se basó principalmente en datos de canales y ríos arenosos (Bruschin, 1982).

### **Sumersión relativa – Logarítmica**

Limerinos (1970) se desarrolló utilizando datos de 50 de arroyos con lecho de grava en California, donde  $d_{50}$  oscila entre 6 y 253 mm. Los cauces de los ríos son corrientes relativamente anchas de forma trapezoidal simple que contendrán toda la descarga sin desbordamiento (Limerinos, 1970).

Bray (1979) se calibró con datos de 67 tramos de lecho de grava en Alberta, Canadá, donde  $d_{50}$  varía de 18 a 147 mm y el ancho del canal es de 14 a 546 m. (Bray, 1979).

Griffiths (1981) Esta ecuación fue desarrollada y calibrada en 84 puntos de muestreo en 35 ríos de montaña, las cuales cumplen para una relación entre el radio hidráulico y  $d_{50}$  entre 1 y 200, además el  $d_{50}$  oscila entre 13 mm y 301 mm (Griffiths, 1981).

Bathurst (1985) utilizó datos existentes y datos aforados para indicar cómo la rugosidad varía y cómo podría ser adaptado y evaluado en río de montaña, las pendientes a este tipo de ríos por lo general están entre 0.4% y 5% del parámetro de la pendiente, dentro de un tipo de río de montañas con mayor pendiente, utilizó una ecuación diferente según los datos que tenía, para determinar con mayor precisión la macro rugosidad de Manning (Bathurst, 2002).

La clasificación de las corrientes según la función de sumersión relativa (Bathurst, 2002) es la siguiente:

Corriente de rugosidad alta:  $d/d_{84} < 1$

Corriente de rugosidad intermedia:  $1 < d/d_{84} < 4$

Corriente de rugosidad baja:  $d/d_{84} > 4$

Donde: d = profundidad del flujo,  $d_{84}$  = percentil del material de un 84 % que pasa.

Barry (2005) empleó el radio hidráulico para estimar el coeficiente de macro rugosidad de Manning. El percentil granulométrico que consideró para la ecuación fue el  $d_{50}$  (Fard et al., 2013).

HEC - RAS (2016) la ecuación depende de parámetros comúnmente utilizados en el diseño hidráulico de canales, como la rugosidad absoluta k. La rugosidad está directamente relacionada con el tamaño de partícula y utilizarla para calcular n tiene la ventaja de reflejar siempre variaciones en el coeficiente de fricción. En este trabajo, se asumió que este valor de k era igual al percentil  $d_{50}$  (Fernández et al., 2018).

### ***Modelo numérico***

La modelización matemática del caudal de un río utiliza métodos numéricos de ecuaciones determinadas mediante un conjunto de supuestos para predecir los valores que tomarán las variables hidráulicas (tirante, velocidad, caudal, etc.) en función de su resolución (Rasooli et al., 2022). Se pueden utilizar modelos 1D o 2D para estudiar los efectos de la propagación de inundaciones en los ríos. Estudiar fenómenos cada vez más complejos y el gran número de situaciones en la naturaleza donde el flujo parece ser en realidad bidimensional (es decir, la dimensión horizontal predomina sobre la dimensión vertical). Uso de ecuaciones y esquemas bidimensionales (ecuaciones de aguas someras). Actualmente existen varias herramientas para resolver el flujo de agua libre bidimensional (Bladé et al., 2012).

HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), creado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos es un modelo numérico de dominio público, a partir de métodos numéricos, para resolver ecuaciones; permiten realizar cálculos hidráulicos de ríos con flujo estable unidimensional y flujo inestable unidimensional y bidimensional. Es un sistema de software integrado que se puede usar en redes multitarea y múltiple uso de flujo (Hicks & Peacock, 2013), basada en las ecuaciones de Saint-Venant, conocidas como ecuación de conservación de energía y ecuación de momentum, no disponen de una solución analítica, salvo para tipos de flujo y situaciones muy específicas (Chow, 1994).

La función principal de este método es predecir y analizar el comportamiento del flujo de agua en canales abiertos utilizando factores como la geometría del canal, las condiciones de flujo y las características del agua. Al discretizar las ecuaciones de Saint-Venant, el dominio de estudio se divide en intervalos finitos. (Moussa, 1996) Las derivadas se aproximan mediante diferencias o elementos finitos para obtener una solución numérica aproximada. Los perfiles de la superficie del agua, los caudales y otros parámetros hidráulicos se pueden obtener resolviendo numéricamente estas ecuaciones en función de la ubicación a lo largo del canal (Dimitriadis et al., 2016).

El modelado hidráulico de ríos 1D supone que todo el flujo de agua es longitudinal. Los modelos unidimensionales representan el terreno como una serie de secciones transversales, simulan el flujo y proporcionan estimaciones de parámetros de flujo como la velocidad y el tirante hidráulico (Kilania & Chahar, 2019).

La ecuación de movimiento unidimensional es:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_f} + gA_c \left[ \frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[ \frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0$$

Donde: Q es el caudal total, A es el área de caudal,  $\Phi$  es el cociente de la conducción del canal sobre la conducción total, Z es la elevación de la superficie del agua y  $S_f$  es la pendiente de fricción, en la que los subíndices c y f se refieren al canal y a la llanura de inundación, respectivamente. Las ecuaciones de flujo inestable del modelo 1D se resolvieron utilizando un esquema implícito de cuatro puntos de evaluación, donde las derivadas espaciales y los valores de la función se evaluaron en punto interior  $(n + \theta) \Delta t$ .

La siguiente es la expresión de las ecuaciones de Saint-Venant en HEC-RAS 2D:

La ecuación de conservación de masa en dos dimensiones (conocida como continuidad):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

Conservación del movimiento

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( u^2 h + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} = ghS_{0x} - ghS_{fx} + \frac{\tau_{wx}}{\rho} + h\zeta v$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left( v^2 h + \frac{gh^2}{2} \right) = ghS_{0y} - ghS_{fy} + \frac{\tau_{wy}}{\rho} + h\zeta u$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0$$

$$a) \quad \frac{\partial}{\partial t} (h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left( h U_x^2 + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) =$$

$$-gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left( v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y) =$$

$$-gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y}\right)$$

Donde:  $h$  = calado,  $U_x$ ,  $U_y$  = velocidades horizontales promediadas en profundidad,  $g$  = aceleración de la gravedad,  $\rho$  = densidad del agua,  $Z_b$  = cota del fondo  $\tau_s$  = fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento,  $\tau_b$  = fricción debida al rozamiento del fondo y  $v_t$  es la viscosidad turbulenta.

La fricción de fondo se evalúa mediante la fórmula de Manning como:

$$\tau_{b,x} = \rho gh \frac{n^2 U_x |U|^2}{h^{4/3}} \quad \tau_{b,y} = \rho gh \frac{n^2 U_y |U|^2}{h^{4/3}}$$

Donde:  $U$ : Es la velocidad promedio en el fondo,  $g$ : Es la aceleración de la gravedad,  $h$  : Es el tirante.

### ***Programación de expresión genética***

Es un algoritmo evolutivo (EA) establecido, la programación de expresión genética (GEP) resuelve tareas definidas por el usuario a través de la evolución de programas informáticos.

Los árboles de expresión (ET) se utilizan con frecuencia para representar programas informáticos como fórmulas matemáticas y reglas lógicas, que tienen dos tipos de nodos: función y terminal. Un nodo (como +, sen) contiene uno o más hijos que representan los argumentos de entrada de una función (Ferreira, 2006).

Una hoja que representa una variable o una constante se conoce como terminal. Un programa informático en GEP está codificado por uno o más genes. Cada gen es una cadena de dos partes:

La primera parte, conocida como "cabeza", se compone de terminales y funciones, mientras que la segunda parte, conocida como "cola", se compone únicamente de terminales. Un esquema de búsqueda de ancho primero se puede utilizar para convertir cada gen en una subfunción equivalente. Una función de enlace (por ejemplo, +), que se define de antemano o se determina mediante una estrategia de adaptación específica, conecta las subfunciones codificadas por genes para formar una solución final (Zhong et al., 2017).

En un sistema completo de genotipo/fenotipo, la programación de expresión génica crea programas informáticos codificados en cromosomas lineales de longitud fija, la expresión de cada gen siempre produce programas genéticos válidos, lo que permite la operación sin restricciones y fructífera (en el sentido de que no se producirán fenotipos inválidos) de operadores genéticos importantes como la mutación, la transposición y la recombinación gracias a la organización estructural de los cromosomas lineales (Zhou et al., 2003).

Aunque simple, el sistema genotipo/fenotipo de la programación de la expresión génica es el primer sistema genotipo/fenotipo artificial con un mecanismo de traducción complejo y sólido. De hecho, la interacción entre genotipo (cromosomas) y fenotipo (árboles de expresión) es la base del tremendo aumento en el rendimiento observado en la programación de la expresión génica (Zuo et al., 2004).

Además, la programación de expresión génica y la programación genética comparten el mismo tipo de representación en árbol, por lo que GEP permite explorar fácilmente nuevas

fronteras abiertas por el cruce del umbral del fenotipo y volver a seguir los pasos dados por la programación genética (Zhong et al., 2014).

### ***Correlación y regresión***

Para tener un sentido estadístico adecuado, es necesario comprender las ideas estadísticas fundamentales enumeradas: los datos, la representación y numeración de la información, la variabilidad aleatoria, la distribución, la asociación y el ajuste de modelos entre dos variables, la probabilidad, el muestreo y la inferencia (Burrill & Biehler, 2011).

### ***Error medio absoluto (MAE)***

A menor valor de MAE, mejor será el modelo en general. El error es calculado como el promedio de la diferencia entre los valores observados y los estimados sin considerar el signo. Puede comparar los MAE de dos modelos diferentes para determinar cuál se adapta mejor a su conjunto de datos, expresa la diferencia entre el valor obtenido y el valor esperado, mientras más próximo sea el MAE a 0, más cercano al resultado real (Torres et al., 2012).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n}$$

Donde:  $y$  es el valor real de un evento  $i$ ,  $\hat{y}$  corresponde al valor de la estimación realizada para un evento  $i$ ,  $n$  es la cantidad de eventos existentes a estimar.

### ***Error medio porcentual absoluto (MAPE)***

La media de MAPE, es el valor promedio de errores porcentuales absolutos de predicciones. Cuanto el valor es más pequeños mejores son las predicciones, MAPE presenta

desviación en términos porcentuales en lugar de unidades, como se hizo en las medidas anteriores, es el promedio del error absoluto o la diferencia entre el riesgo real y el pronóstico, expresada en porcentaje de valores reales, y los siguientes criterios para interpretar valores, MAPE < 10% corresponde a modelos de alta precisión, 10%-20% se asocian con modelos de buena capacidad de predicción, 20%-50% con razonable capacidad de predicción, >50% con limitada capacidad de predicción (Pinzón, 2020).

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100 |\text{Observado} - \text{Simulado}|}{\text{Observado} \cdot n}$$

Donde: n es la cantidad de eventos existentes a estimar.

#### ***Raíz del error cuadrático medio (RMSE)***

Este método es utilizado para determinar la magnitud de la desviación estándar de los valores residuales estimados de valores observados. Los valores van desde 0 hasta infinito positivo. Un valor de 0 corresponde a un ajuste perfecto.

Este método tiene la ventaja de que los valores negativos no se cancelan frente a los valores positivos. La raíz del error cuadrático medio permite calcular la magnitud de la variación entre los valores simulados y los valores observados (Cabrera, 2012).

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sm} - Q_i)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:  $Q_i$  es el valor real de un evento  $i$ ,  $Q_{sm}$  corresponde al valor de la estimación realizada para un evento  $i$ ,  $n$  es la cantidad de eventos existentes a estimar.

### ***Coefficiente de determinación ( $R^2$ )***

La variable independiente X explica el porcentaje de la variación total de la variable dependiente Y, según  $R^2$ ; este valor se encuentra en el rango de  $0 \leq R^2 \leq 1$ , o de 0 a 100 %, cuanto mayor sea el  $R^2$ , más confiables serán las predicciones y menos errores predictivos, el coeficiente de determinación  $R^2$  nos indica cuánto se ajustan los datos al modelo seleccionado.

Para la regresión lineal simple,  $r^2 = R^2$  y ambas ecuaciones se pueden representar con letras minúscula o mayúscula, lo que indica que son iguales (Ivancich & Martínez, 2011).

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Donde: SSR es la suma de cuadrado de regresión, SST es la suma de cuadrados.

### ***Correlación lineal simple***

La regresión lineal simple permite estimar en forma lineal una variable dependiente Y, en función de una variable independiente X; se suele usar para completar datos o extender un registro (Camacho et al., 2006). El modelo de regresión lineal está dado por la ecuación.

$$y = a + b*x$$

Donde, x, es la variable independiente o conocida, y, es la variable dependiente o que se trata de predecir, a y b son parámetros que son determinados por el método de mínimos cuadrados.

En la fase de validación, tras la calibración, se verifica mediante simulación si el modelo se comporta correctamente y se adapta a los valores observados.

### **Definición de términos básicos**

**Caudal (Q).** Magnitud que muestra la cantidad de fluido que fluye a través de un segmento.

**Lecho del río.** Es el terreno sobre el que fluye el agua del río, formando un canal natural. El lecho de un río es también conocido como cauce fluvial.

**Pendiente (S).** Inclinación que tiene un cauce hidráulico.

**Perímetro mojado.** Distancia del contorno en contacto con el agua.

**Radio hidráulico (R).** Relación que existe entre la superficie transversal y el perímetro mojado de la sección.

**Rugosidad.** Resistencia del material de río al flujo hidráulico.

**Tirante (y).** Longitud vertical que inicia en el lecho del río hasta la superficie libre.

**Velocidad de flujo (V).** rapidez que alcanza el fluido en un determinado punto.

### CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

#### **Hipótesis**

La hipótesis fue la etapa que nos llevó al hallazgo de hechos nuevos, se desarrolla de diferentes aristas, puede estar justificada en una suposición, plantearse de las consecuencias de otras investigaciones o estar fundamentada en una teoría (Abreu, 2012).

Las variables tomaron valores que fueron cuantificables para el estudio científico cuando lograron una relación entre variables, en esa dirección las hipótesis fueron conjeturas de la relación de los factores de características, atributos, propiedades, cualidades que determinaron a la incógnita que fue el objetivo de la investigación, fueron definidas como de una investigación sus variables (González & Sánchez, 2012).

#### ***Hipótesis principal o general***

La influencia se basa en las condiciones morfológicas que interviene en la resistencia al flujo en el lecho del río, condiciones hidrológicas e hidráulicas y consecuentemente influye en el dimensionamiento estructural.

#### ***Hipótesis secundarias o específicas***

Las características hidrográficas, que presentan un relieve alto y rocoso, con una red hídrica detrítica, las morfológicas son de caudal promedio de 2.3 m<sup>3</sup>/s, velocidad media de 0.56 m/s, ancho aproximado del río de 2.70 m y tirante de 0.40 m.

Se estimó que la macro rugosidad del río Tarma fluctuó entre 0.028 – 0.035.

El impacto económico fue de manera significativa con una disminución del 5%, con la cual se podrán dimensionar las estructuras de forma óptima en la región.

## **Variables e indicadores**

De acuerdo con Martínez (2013) para justificar las hipótesis fue necesario conocer el concepto de variable, porque las hipótesis dependen directamente de las variables.

Una variable es una característica que puede variar, para ser susceptible a ser medido u observado.

Las variables adquieren valor para un estudio científico cuando logran una relación con las variables, en esa dirección las hipótesis fueron conjeturas de la relación de los factores de características, atributos, propiedades, cualidades que determinan la incógnita que es el objetivo de la investigación, estas fueron definidas como de una investigación sus variables (González & Sánchez, 2012).

### ***Variables independientes***

Abreu (2012) definió que la variable independiente fue lo que causó un cambio y controló el objeto de estudio, sus efectos en la variable dependiente, se empleó alcances explicativos en el diseño experimental fueron utilizados para intervenir, manipular y obtener modificaciones en la variable dependiente, fue vista entonces como causa, que fue controlada por el experimentador.

Por tal sentido, la variable independiente de la investigación fue el valor de la macro rugosidad fluvial. La investigación se realizó en el río Collana de la provincia de Tarma.

### ***Variable dependiente***

Álvarez et al. (2019) definieron a la variable dependiente como aquellas que fueron afectadas por la variable independiente, las variables a explicar, o el objeto de la investigación,

que se trata de explicar en función de otros elementos, recibieron este nombre, cambiando debido a la participación de la variable independiente, llamada efecto, la dependiente estuvo determinado por el valor de otras variables.

En la investigación fue la variable dependiente definida el dimensionamiento de estructuras hidráulicas.

## Operacionalización de las variables m<sup>3</sup>

**Tabla 7**

*Operaciones con variables*

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones de la variable (subvariables)</b>	<b>Variables empíricas o indicadores</b>	<b>Medición</b>	<b>Valorización</b>
Variable independiente				
Macro rugosidad fluvial	Hidráulico	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Protocolo nacional de Monitoreo (Ministerio de Agricultura)
		Tirante	m	
		Velocidad	m/s	
	Geotecnia	Granulometría	m	NTP 350.001, escala de Udden-Wentworth (1922)
	Batimetría	Levantamiento topográfico	m	Contenidos técnicos mínimos para estudios topográficos (Programa Nacional de Infraestructura Educativa)

Variable dependiente				
Dimensionamiento hidráulico	Diseño hidráulico	Tirante	m	Criterios de Diseño de Obras
		Velocidad	m/s	Hidráulicas para la
		Caudal	m <sup>3</sup> /s	Formulación de Proyectos
		Pendiente	m/m	Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico (Autoridad Nacional del Agua)

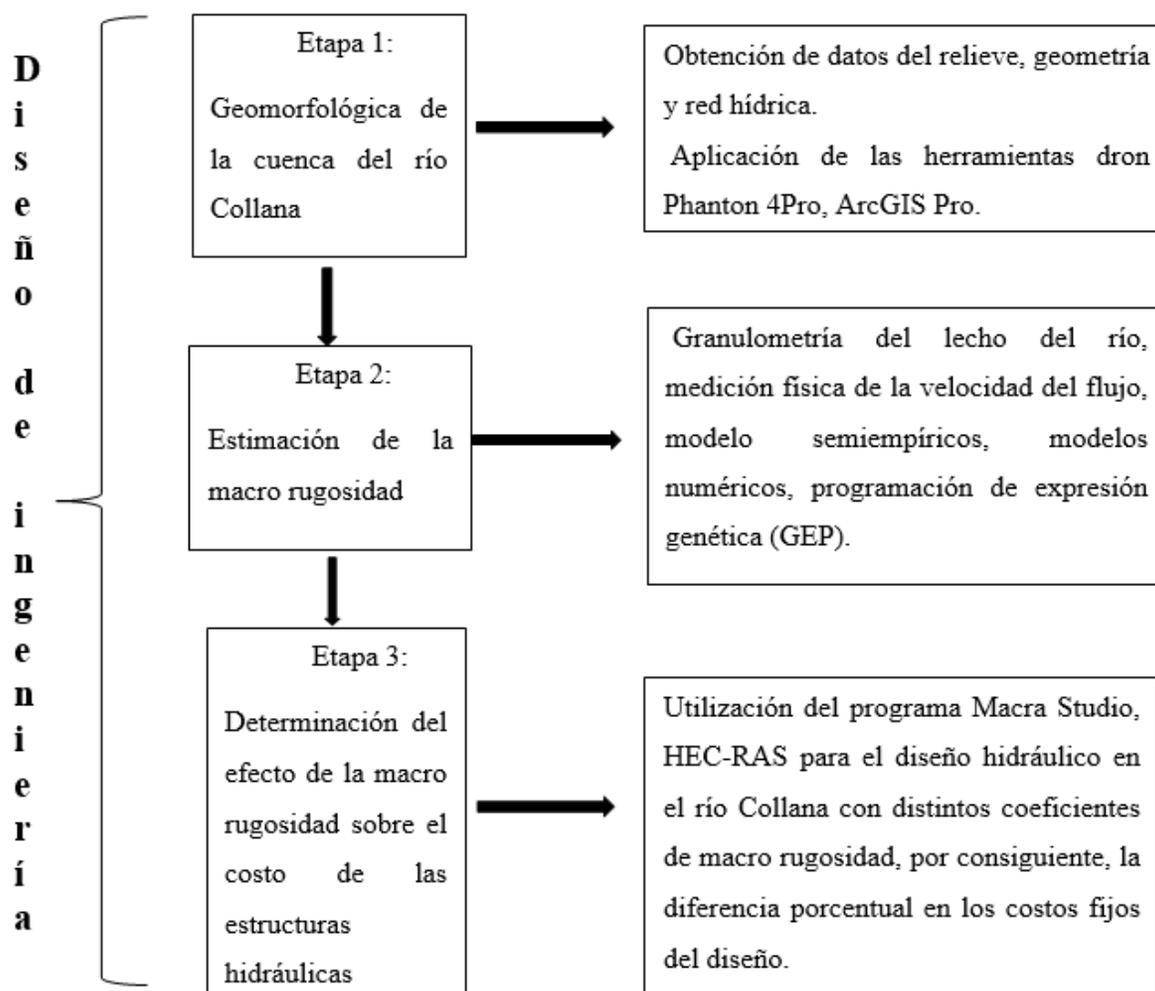
## CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### Diseño de ingeniería

El análisis de los datos que se obtuvieron de los estudios básicos en el río Collana, se empleó la estadística descriptiva, la cual se utilizó para comprender y seleccionar la información de campo, la finalidad de la siguiente investigación fue el encontrar la macro rugosidad de la zona de estudio en el río Collana y la influencia en los diseños estructurales hidráulicos y de esta forma avanzar en el conocimiento de la ingeniería civil (Mousalli, 2015).

### Figura 4

*Flujograma del diseño de ingeniería*



## **Métodos y técnicas del proyecto**

### ***Enfoque de la investigación***

El presente trabajo fue delineado con el enfoque cuantitativo, ya que este fue el mejor método que se adaptó a las características de la investigación.

El enfoque cuantitativo empleó la acumulación y estudio de datos para contestar interrogantes de investigación y justificar hipótesis establecidas previamente, confío en el cálculo numérico, el conteo y el uso repetido en la estadística para establecer con precisión guías de comportamiento (Vega et al., 2014).

Del enfoque cuantitativo se tomó la técnica de recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica, con lo cual se encontró el valor de la macro rugosidad en el río Tarma y su influencia en las infraestructuras hidráulicas.

### ***Alcance de la investigación***

La investigación es de alcance explicativo, Ramos (2016) determinó que los estudios como aquellos tienen como finalidad hallar relaciones entre variables. Vega et al. (2014) también mencionaron que los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o de fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; fueron dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales.

El alcance de esta investigación fue el explicativo, porque buscó las razones o causas por las cuales la macro rugosidad tiene injerencia en el diseño de estructuras hidráulicas y sus efectos económicos.

### ***Diseño de la investigación***

La investigación experimental conocida como investigación Ex Post Facto, término del latín que significa después de ocurridos los hechos. Es una forma de investigación clasificada como sistemática en donde se pueden manipular las variables independientes porque los hechos ya ocurrieron, el papel del investigador fue limitarse a la contemplación del panorama existente no puede influir sobre las variables y sus efectos, la presente investigación fue experimental porque se interviene y manipula el objeto de estudio que es la obtención de la macro rugosidad (González & Sánchez, 2012).

El diseño transversal fue el adecuado para analizar la relación entre un conjunto de variables en un punto del tiempo, es la recolección de datos en un solo momento, en un tiempo único. Esta investigación fue transversal porque el análisis consistió en recolección de datos como caudal, velocidad, tirante, pendiente de sección, granulometría, topografía que fueron realizados en una sola ocasión para hallar la macro rugosidad y de esa forma conocer la influencia en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas y efectos económicos (Álvarez et al., 2019).

### **Diseño estadístico**

#### ***Población***

La población es un conjunto de elementos en los que se pueden observar o medir una o varias características (Peñabaena et al., 2014).

La población estudiada en esta investigación fue el área de la cuenca del río Collana ubicada en la provincia de Tarma, región Junín.

### ***Muestra***

La muestra es una parte de la población que fue seleccionada de acuerdo con un plan con la finalidad de obtener información acerca de la población de la cual es su origen, la muestra deberá ser seleccionada de manera que sea representativa de la población (Peñabaena et al., 2014).

En esta investigación, la sección de estudio fue sobre un cauce de 1 km del río Collana ubicado en la provincia de Tarma para el estudio del mismo para obtener la macro rugosidad del río antes mencionado.

### ***Técnicas utilizadas en la investigación***

**Observación en campo.** Se desarrollaron múltiples visitas de campo en el río Collana lugar donde se recolectaron y clasificaron los datos obtenidos para luego utilizarlo en establecer el valor de la macro rugosidad para dimensionar en un diseño hidráulico que cumple con la función de salvaguardar las vidas humanas, vías de comunicación, viviendas que se ubican en las riberas del río antes mencionado.

### ***Instrumentos utilizados en la recolección de datos***

Cuaderno de campo: empleado en campo para recabar los apuntes de los datos, y descripción del sector de trabajo.

Bolígrafo para los apuntes.

Celular para captar las evidencias de los datos de campo.

Cinta métrica: empleada para determinar la longitud de orilla a orilla del río, y establecer las distancias de hito a hito de 25 m.

Cordel: utilizada para unir las estacas en cada hito colocadas en los extremos del río, para así tener un eje por donde se tomaron las medidas de tirantes y velocidades.

Bolsas: empleadas para depositar y transportar las muestras pétreas al laboratorio para su respectivo análisis.

Correntómetro: empleada para tomar las mediciones de la velocidad del caudal del río, en cada hito del río preestablecido.

El drone Phantom 4Pro, se realizó un plan de vuelo de 10 minutos, con lo cual se obtuvieron los datos batimétricos del río Collana.

Laptop: se utilizó para el proceso de datos obtenidos en el campo y los brindados por el laboratorio, con la hoja de cálculo en Excel, para hallar el coeficiente de rugosidad, y los costos del diseño hidráulico, y los programas ArcGIS Pro, HEC-HMS, HEC-RAS, Civil 3D, SAGA, GeneXproTools, RStudio, MACRA STUDIO1.5.

### ***Técnicas y herramientas estadísticas***

La calibración y validación de los modelos se basaron en aspectos estadísticos. La misma se basó en la teoría de errores como la correlación lineal, coeficiente de determinación ( $R^2$ ), raíz del error cuadrático medio (RMSE), error medio porcentual absoluto (MAPE), error medio absoluto (MAE). El error se implementó con el software RStudio, así como el propio GEP.

### ***Normas para la investigación***

Análisis granulométrico de agregados fino, grueso y global NTP 400.012.2001.

El “Manual de Ensayo de Materiales”, toma en cuenta como referencia la normatividad de las instituciones técnicas reconocidas internacionalmente, tales como AASHTO, ASTM.

Generación del mapa temático de curva número (CN) manual de ANA.

Autoridad Nacional del Agua manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico.

Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC).

Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016).

Contenidos técnicos mínimos para estudios topográficos (plataforma del estado peruano).

### ***Software***

RStudio Software matemático, estadístico de código abierto, con lo cual se analizaron los datos y gráficos de los distintos valores del coeficiente de Manning.

ArcGIS Pro empleado en la delimitación de la cuenca Collana y obtener los parámetros hidráulicos de la misma.

HEC-HMS 4.12 se empleó para simular los procesos hidrológicos que ocurrieron en la cuenca, se simuló el hidrograma de escorrentía que resulta de los datos de precipitaciones.

HEC-RAS V.6.5 es ejecutado en la modelización hidráulica empleada en simulación de inundación, para tener el tirante máximo de diseño.

Civil 3D utilizado para el diseño de estructura hidráulica y generar el DEM del río Collana modificado.

SAGA utilizada para transformar los datos de tirante de HEC-RAS en formato TIFF para llevarlo a Civil 3D.

GeneXproTools se empleó para estimar una ecuación de Manning, que se ajuste a la zona.

MACRA STUDIO1.5 utilizado el software para el dimensionamiento y verificación hidráulica del flujo en el río Collana.

### ***Itinerario de actividades***

Traslado a la zona de estudio, colocación de hitos, para lo cual se utilizan estacas de madera, con un martillo para dicha labor con lo cual se delimitan las áreas de trabajo, colocación de estacas a una distancia de cada tramo de 25 m paralelo al río en forma transversal al río en cada sección se recabo datos del cauce del río, comenzando de aguas abajo, hacia aguas arriba.

Se tomaron muestras pétreas del río Collana del fondo del cauce para obtener la granulometría de las secciones establecidas en la presente investigación, con la toma de muestras de cada sección de la línea transversal del río, tomaron tres muestras de material del río en cada sección transversal del mismo con un peso aproximado de 8 kg lo cual fue depositado en bolsas etiquetadas para luego ser transportadas al laboratorio de la UCSS, luego de recibir los resultados, los cuales fueron procesados en gabinete con las hojas de cálculo.

Medición de velocidades de cada sección se realizará con la ayuda del correntómetro, las cuales se tomarán en cada sección transversal ya delimitada de cuatro mediciones de velocidades del flujo para luego obtener una velocidad promedio como resultado los cuales son procesados en gabinete para cotejar los resultados de la resistencia del fluido con las fórmulas empíricas y cotejar los márgenes de errores de la investigación.

Levantamiento topográfico con el dron Phantom 4Pro, los datos recabados por el dron y procesados se utilizaron para obtener curvas de nivel de la zona, un DEM de la misma zona de estudio y luego procesarlo en HEC-RAS V.6.5

Fuentes secundarias:

Fuentes de información.

Libros físicos y virtuales.

Revistas científicas indexadas, electrónicas (Scopus, Scielo).

## CAPÍTULO V. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Factores hidrológicos

Las variables morfométricas de la cuenca del río Collana desde los sitios de aforo hasta el drenaje, las cuales fueron: el área (A) de la cuenca, el perímetro (P) de la cuenca, la longitud del cauce principal (L), la pendiente de la cuenca (Sc) la pendiente del cauce (S), altimetría las se realizó con el programa ArcGIS Pro y la generación del mapa temático de curva número (ANA).

### Tabla 8

*Parámetros geomorfológicos de la cuenca*

Características	Método de obtención
Área (A)	Software ArcGIS Pro, delimitación con un polígono, se usó la calculadora y tabla de atributos
Perímetro (P)	Software ArcGIS Pro, se utilizó la calculadora y tabla de atributos
Longitud del cauce principal (L)	Software ArcGIS Pro se delineó y se tomó la medida
Pendiente (S)	Software ArcGIS Pro
Altimetría (m.s.n.m.)	Software ArcGIS Pro

El área de estudio dispone de una estación pluviométrica automática cuya información histórica de precipitaciones se basó en pruebas de homogeneidad y análisis de consistencia de datos registradas en las 24 horas de un periodo de 23 años con el software TREND tiene programado 12 test estadísticos, con un nivel de confiabilidad del 95% basados en la

WMO/UNESCO Expert Workshop, tipo de prueba de tendencia y cambio para luego realizar la prueba de bondad utilizando el software de ajuste HIDROGNOMON y el método de Smirnov-Kolmogorov.

El método de Aparicio permitió la obtención de curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia), que determinan la intensidad crítica de la precipitación. La curva con periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100, 140 y 500 años está definida por la ecuación.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{D^n}$$

Donde I es intensidad de precipitación (mm/h), T es tiempo de retorno (años), D es duración (minutos), k es parámetro de ajuste (adimensional), m es parámetro de ajuste (adimensional), n es parámetro de ajuste (adimensional).

Con las curvas IDF se construyen hietogramas por el método, bloques alternos para las transformaciones en escorrentía. Los tiempos de retorno utilizados para la proyección de escenario fueron 2, 10, 25, 50, 100, 140 y 200 años con una duración de 1440 minutos mediante el hidrograma triangular adimensional el cual será procesado con el software HEC-HMS con los métodos de S.C.S., Snyder y Clark que se basan en la teoría del canal lineal y la teoría del reservorio lineal

Se calculó el coeficiente CN (curva número), según el mapa temático de curva número de ANA, se utilizó el mapa de cobertura y uso, mapa de suelos y DEM en formato shapefile, obtenidos de GEO GPS PERÚ (Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados) para ser procesado en ARCGIS, basó en el promedio ponderado, para hallar CN en condiciones normales.

$$CN(II) = \frac{\sum_{i=1}^k CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^k A_i}$$

Donde: CN es curva número (adimensional), A es área de curva número (km<sup>2</sup>), i es límite inferior (adimensional).

### Figura 5

*Ecuaciones de curva número, en condiciones secas y húmedas*

CN condiciones secas	CN condiciones húmedas
$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$	$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)}$

*Nota.* Esta figura muestra las CN, tomado de generación del *mapa temático de curva número* *Autoridad Nacional del Agua, 2010.*

Por lo tanto, T<sub>c</sub> se utilizó para comprender el comportamiento de una cuenca durante los eventos de lluvia (Vélez & Botero, 2011) la estimación de T<sub>c</sub> tiene importancia en la formulación de modelos de predicción de inundaciones, los métodos empíricos de estimación de T<sub>c</sub> que se ejecutó fueron:

Bransby Williams (1998)	$T_c = 0,0139LS^{-0.6}$
Carter (1961)	$T_c = 0,0977L^{0.6}S^{-0.2}$
Chow (1961)	$T_c = 0,1602.L^{0.64}.S^{-0.32}$
Clark (1945)	$T_c = 0,335 \left[ \frac{A}{S^{0.5}} \right]^{0.593}$
Corps of Engineers (1977)	$T_c = 0,191L_c^{0.76}S_c^{-0.19}$
Dooge (1973)	$T_c = 0,365A^{0.41}S^{-0.17}$

Epsy (1987)	$T_c = 6,89 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.36}$
George Rivero (196)	$T_c = \left[ \frac{16L}{(1,05 - 0,2p)(100S)^{0.04}} \right]$
Giandotti (1940)	$T_c = \frac{\sqrt[4]{A} + 1,5.L}{0,8.\sqrt{SL}}$
Guaire	$T_c = 0,355 \left( \frac{HA}{L\sqrt{S}} \right)^{0.595}$
Haktanir and Sezen (1990)	$T_c = 0.7473L^{0.841}$
Jhonstone and Cross (1949)	$T_c = 0,4623L^{0,5} S^{-0,25}$
Kerby (1959)	$T_c = 0,06635.L^{0,77} .S^{-0,385}$
Kim	$T_c = 0.089A^{0.427} S^{-0.239}$
Kirpich – Tennessee (1940)	$T_c = 0,0653.L^{0,77} .S^{-0,385}$
Kirpich – Pennsylvania (1940)	$T_c = 0,01104.L^{0,77} .S^{-0,5}$
Kraven	$T_c = 0,0074L .S^{-0,515}$
Pasini (1914)	$T_c = 0,108.A^{0.333} .L^{0.333} .S^{-0,5}$
Pérez (1985)	$T_c = \frac{L}{72 \left( \frac{H}{L} \right)^{0,6}}$
Picking (2007)	$T_c = 0,0883.L^{0,667} .S^{-0,332}$
Pilgrim-MacDermott	$T_c = 0.76A^{0.38}$
Rziha (1876)	$T_c = 0,0139.L .S^{-0,6}$

Temez (1987)	$T_c = 0,3 \left[ \frac{L}{S^{0,25}} \right]^{0,76}$
USBR	$T_c = 0.00087 L^{0.77} S^{-0.385}$
USGB	$T_c = 1.54 L^{0.875} S^{-0.181}$
Valencia y Zuluaga (1981)	$T_c = 1,7694 \cdot A^{0,325} \cdot L^{-0,096} \cdot S^{-0,29}$
Yoon (2000)	$T_c = 1,08 A^{0,09} L^{0,16} S^{-0,12}$

Donde,  $T_c$  es el tiempo de concentración (horas),  $L$  es la longitud del curso de agua más largo (km),  $S$  es la pendiente promedio del cauce principal (m/m),  $S_0$  es la pendiente en porcentaje,  $A$  es el área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

## Estimación de caudales

### *Métodos empíricos*

Estos son modelos basados en observaciones reales, como rastros dejados por inundaciones históricas a gran escala e información recopilada de residentes de áreas específicas.

### Modelos empíricos de Creager

Siendo la ecuación:

$$Q = C \cdot \left( \frac{A}{2.59} \right)^{0.936/A^{0.048}}$$

Donde:  $Q$  es caudal máximo,  $A$  es área de la cuenca y  $C$  es coeficiente de escorrentía.

### Modelos empíricos de Temez

$$Q = 0,03 \cdot F_s \cdot P_{24} \cdot A^{0,75} \cdot \log(T)$$

Donde:  $P_{24}$  es la precipitación máxima diaria (mm),  $F_s$  es el factor de reducción por simultaneidad de la lluvia,  $A$  es el área y  $T$  periodo de retorno.

$$F_s = 1 - \frac{\log A}{15}$$

### Modelos empíricos modificado de Verni-King

$$Q = C(T) \cdot 0,00618 \cdot P_{24}^{1.24} \cdot A^{0.88}$$

Donde:  $P_{24}$  es la precipitación máxima diaria (mm),  $C(T)$  es el coeficiente de escorrentía.

**Tabla 9**

*Valores del coeficiente de escorrentía*

<b>Tipo</b>	<b>Relieve</b>	<b>C</b>
Bosques	Ondulado	0.18
	Quebrado	0.21
Pasto	Ondulado	0.36
	Quebrado	0.42
Cultivo	Ondulado	0.60
	Quebrado	0.72

*Nota.* Tomada de métodos para determinar (c), por Moreno, 2011.

### *Métodos semiempíricos de caudales*

**Método racional.** La modelación matemática de la relación existente entre la precipitación y el escurrimiento de una hoya hidrográfica se conoce como método racional. El

método se apoya en las fórmulas empíricas y semiempíricas que se basan en una variedad de hipótesis (Aparicio, 2018).

Este método determinó el caudal máximo a través de una sección; ocurre en precipitaciones constantes y uniformes de máxima intensidad sobre una cuenca. Esto equivale a un tiempo de concentración de secciones. Dado que el área de la cuenca de estudio es pequeña, se utilizó el método racional para estimar el caudal de inundación. La ecuación es:

$$Q = 0,278CIA$$

Donde: Q es descarga máxima (m<sup>3</sup>/s), C es coeficiente de escorrentía, I es intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h) y A es área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

**Tabla 10**

*Coeficiente de escorrentía método racional*

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta >20%	Media >5%	Suave >1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15

	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Hierba, grama	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

*Nota.* Esta tabla muestra valores de escorrentía, tomada de *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, 2010.

### ***Método racional modificado***

Teméz propuso una versión modificada en 1991, ampliando la aplicación del método racional y considerando los efectos de la heterogeneidad de la precipitación a través del factor de uniformidad, la ecuación es:

$$Q = 0,278CIAK$$

Donde: Q es la descarga máxima (m<sup>3</sup>/s), C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h), A es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>) y K es el coeficiente de uniformidad.

### ***Método de hidrograma unitario sintético***

**Hidrograma unitario sintético triangular (SCS).** Este método es recomendable tan solo para cuencas de tiempo de retardo en horas, usado en cuencas sin muchos datos, para su desarrollo

se utilizó el software HEC-HMS, se requiere del parámetro de tiempo de concentración, por lo que se promedió los resultados de las fórmulas semiempíricas desarrolladas en la tesis.

Fórmula del tiempo de retardo.

$$t_p = 0,6.t_c$$

Donde:  $t_p$  es el tiempo de retardo,  $t_c$  es el tiempo de concentración.

**Hidrograma unitario sintético de Snyder.** Existen varios métodos derivados de los hidrogramas unitarios, uno de los cuales es la metodología de Snyder, hizo que los parámetros del hidrograma unitario fueran regionalizados para 41 cuencas en los Estados Unidos. Para construir hidrogramas unitarios, colaboraron con Espery, Altman y Graves para crear un conjunto de ecuaciones generalizadas. Las cuencas de 32 km<sup>2</sup> a 30000 km<sup>2</sup> pueden utilizar este método (Pizarro et al., 2012).

El software HEC-HMS se utilizó en el desarrollo del método del HU de Snyder. Para comenzar, se necesitaron determinar los parámetros requeridos por el método, que son el tiempo de retardo y el coeficiente pico de Snyder. Para determinar estos parámetros, se necesita obtener información hídrica y la topografía de la zona de estudio.

Fórmula del tiempo de retardo.

$$t_p = C_1 \cdot C_t (L \cdot L_{ca})^{0.3}$$

Donde:  $t_p$  es el tiempo de concentración,  $C_1$  es el coeficiente de tiempo de retraso para una subcuena que varía de 0.2 a 4.2,  $C_t$  tiene un valor de 1,  $L$  es la longitud del canal (km),  $L_{ca}$  es la longitud del curso principal al centro de gravedad (km).

**Hidrograma unitario sintético de Clark.** Este método es recomendado para Francia y cualquier lugar, justificado para el estudio que se realizó y la cantidad de información disponible, considero dos procesos traslación y laminación.

También se utilizó el software HEC-HMS, el método HU de Clark, para desarrollar los coeficientes de almacenamiento y los parámetros de tiempo de concentración, que requirieron información de la red hídrica y la topografía de la cuenca. Cálculo del coeficiente de almacenamiento con la ecuación.

$$R = 0,50.t_p$$

Donde: R es coeficiente de almacenamiento (horas),  $t_p$  tiempo de retardo (min).

Los hidrogramas unitarios sintéticos, sus datos fueron procesados con el software HEC-HMS para obtener caudales máximos en los distintos tiempos de retornos.

### ***Criterio de riesgo***

Los parámetros temporales en el diseño de una obra, son fundamental en considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura.

Los criterios de riesgo predeterminan los riesgos que se deben asumir si la obra falla durante su vida útil y se utilizaron en el primer año de diseño para significar que no ocurrirán eventos de mayor magnitud, por cada tiempo de vida útil de la obra (Ministerio de Transporte y Comunicación, 2011). El riesgo aceptable de incumplimiento del cometido del periodo de retorno y de la vida útil de obra se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

**Tabla 11**

*Valores de periodo de retorno*

	<b>Vida útil de la obra (n años)</b>									
<b>Riesgo admisible</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>

0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4975	9900
0.05	20	39	29	98	195	390	488	975	1950	3900
0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0.50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144

*Nota.* Tabla muestra riesgo admisible de periodo de retorno. Tomado de Monsalve, 1999.

La vida útil a tener en consideración de puentes y defensa ribereñas es de n=40 años.

**Tabla 12**

*Valores de riesgo admisible de obras de drenaje*

<b>Tipo de obra</b>	<b>Riesgo admisible (**)</b> (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensa ribereña	25

*Nota.* La figura muestra el esquema de valores, tomado de MTC, 2010.

### **Levantamiento topográfico**

En este trabajo se ejecutó un levantamiento topográfico con fotogrametría con dron, específicamente se utilizó el dron Phantom 4Pro y el software Pix4D. Las mediciones se obtuvieron con la fotogrametría a partir del dron, con un tiempo máximo de vuelo de 30 minutos, con un potencial de transmisión de 5,8 GHz, módulo de GNSS de alta precisión, frecuencia utilizada GPS: L1/L2, con una precisión de mapeo que cumple con los estándares de precisión de ASPR para ortófonos digitales clase III, con un área operativa de 1 km<sup>2</sup>, a una altitud de 182 m con un GSD de aproximadamente 5 cm/pixel, obteniendo datos fiables con una precisión de +/- 1 cm datos que fueron procesados en el software Pix4Dmapper para obtener una nube de puntos en los cuales con el software Autodesk Civil 3D se visualizó la planimetría, curvas de nivel, el control terrestre GPS, secciones y perfiles. Dentro del paso, la cámara tomó imágenes de manera que hay una superposición significativa de las imágenes para que se pueda realizar una reconstrucción del terreno investigado.

**Figura 6**

*Dron Phantom 4Pro*



*Nota. Tomado de DJI Enterprise, 2021.*

El levantamiento es diferente en una zona completamente despejada de una zona densamente cubierta de vegetación, por lo que es necesario hacerlo cuando hay vegetación. La forma del terreno fue crucial para evaluar si fue una superficie plana, una cadena montañosa, una excavación o áreas con pendientes pronunciadas.

El objetivo principal fue cubrir minuciosamente cada porción del terreno, independientemente de su tamaño, para obtener una visualización estereoscópica a través de vuelos de dron. Para mantener la autonomía del vuelo, se deben tener en cuenta algunas cosas como el clima y las condiciones meteorológicas, así como la temperatura ambiental.

La planificación de la misión incluye la determinación de la altitud de vuelo, la superposición de imágenes, la ruta del dron y otros parámetros cruciales para la calidad de los

datos recopilados antes del vuelo. Los puntos de control son cruciales para alinear el modelo digital de superficie en un sistema de coordenadas específico.

Este método facilita la georreferenciación y proporciona el nivel de precisión y exactitud necesario para la representación planimétrica y altimétrica. Para realizar el vuelo del dron, se debe implementar un sistema de posicionamiento GPS diferencial, también conocido como RTK, protocolo necesario con el cual se realizó el vuelo del dron Phantom 4Pro.

### **Análisis granulométrico**

El lugar de estudio, fue de una longitud de 1 km del cauce de la subcuenca Collana la cual se delimitará en 20 secciones transversales al río de orilla a orilla, con una distancia de separación entre secciones de 50 m, estableciendo hitos en las 20 secciones.

Se extrajeron muestras pétreas del lecho del río de aproximadamente 8 kg, las cuales serán embolsados y etiquetados cuidadosamente para ser transportados al laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, donde se obtuvieron los resultados granulométricos de los diámetros  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{90}$ , con la referencia normativa ASTM C 136 – 01. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates” (método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados finos y gruesos).

Se basó en la escala granulométrica de Udden - Wentworth (1922), Gallegos (1996) Ambas clasificaciones son muy utilizadas. Se clasificaron las partículas con la tabla que se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13***Escala granulométrica.*

Clase		Wentworth (1922)	Gallegos (1997)
		Diámetro (mm)	Diámetro (mm)
Bloques	Bloques	> 256	> 256
Cantos	Cantos	256 - 64	256 - 16
Gravas	Gravilla	64 - 4	
	Granular	4 - 2	16 - 2
	Muy grueso	2 - 1	
	Grueso	1 - 0.5	
Arena	Medianas	0.5 - 0.25	2 - 1/16
	Fina	0.25 - 0.125	
	Muy fina	0.125 - 1/16	
Limo	Limos	1/256	1/16 - 1/256
Arcilla	Arcilla	< 1/256	< 1 /256

*Nota.* Adaptado de *A scale of grade and class terms for clastic*, 2001.

### Medición física de la velocidad

En algunos casos, con este tipo de mediciones fue necesario medir la velocidad de un curso de agua en dos, tres o más puntos a diferentes profundidades a lo largo de una vertical y desde la superficie del agua de la sección del canal, ya que el correntómetro solo mide la velocidad en un punto.

Las velocidades en el río Collana fueron tomadas en secciones establecidas de una distancia entre cada hito de 50 m (20 secciones transversales al río Collana) se colocó un cordel de orilla a orilla, fijadas en estacas en cada orilla del río, una vez establecido el trazo del eje.

Con el correntómetro se tomaron las mediciones de velocidad del curso de agua en uno, dos, tres o más puntos a diferentes calados a lo largo de una vertical desde el espejo del agua de la sección del canal, porque el correntómetro solo mide la velocidad en un punto.

Las medidas tomadas de velocidades en cada sector se ejecutaron según el, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016) los resultados fueron apuntados en un cuaderno de campo.

Las mediciones se llevaron en cada sección con una separación de 50 m entre cada una, la velocidad del flujo del río Collana se ejecutó con el Correntómetro Global Water FP 111, varilla extensible de 1.1 a 1.8 m, de rango 0,1 a 6,1 m/s y precisión de 0,030 m/s, el cual presenta una ecuación de calibración:

$$V = p + qn$$

Donde:  $n$  es la cantidad de vueltas de la hélice por segundo,  $q$  es el paso real de la hélice en metros,  $p$  es la velocidad de frotamiento en m/s.

**Figura 7***Correntómetro Global Water FP 111**Nota. SOLITEC-Perú*

Se calcula el área de la sección transversal que se utilizará para el cálculo del caudal una vez que se conocen los tirantes de agua y los anchos de las secciones parciales.

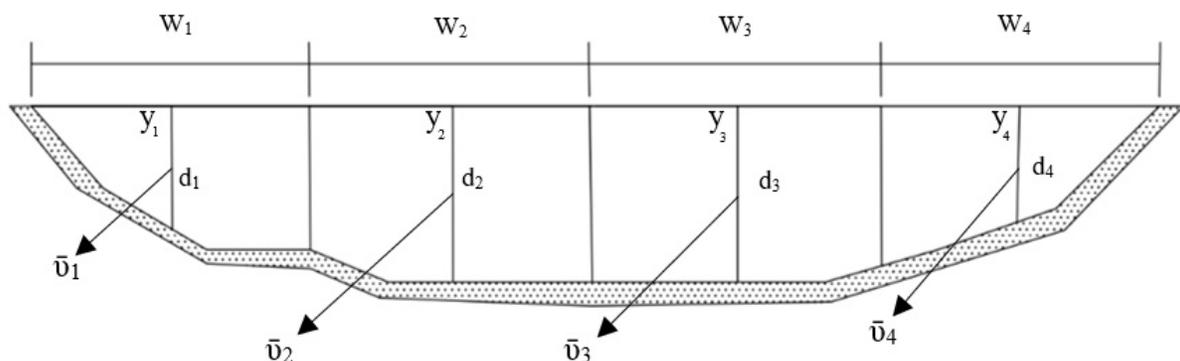
Finalmente, si sabemos el área transversal del canal ( $A$ ) y reemplazamos la ecuación (6) en (1), se puede obtener:

$$Q = A(p + qn)$$

La velocidad media del flujo se determinó mediante la ecuación (1) como la relación de las velocidades puntuales, nivel de la superficie del agua y área de las dovelas. Finalmente, se determinó el caudal real de circulación mediante la ecuación (2). Se utilizó el escalímetro para hallar el tirante de dichos puntos.

$$v_i = \frac{1}{y_i} \sum_{j=0}^{k-1} \left[ \left( \frac{v_{j+1} + v_j}{2} \right) (d_{j+1} - d_j) \right] \quad (1)$$

$$Q = \sum_{j=1}^k v_i y_i \Delta w_i \quad (2)$$

**Figura 8***Método del molinete*

Donde:  $v_i$  es velocidad media en la vertical,  $y_i$  es nivel de la superficie del agua en la vertical,  $v_j$  es la velocidad puntual en el  $j$  punto de medida de la vertical,  $d_j$  es la distancia medida desde el lecho al punto de medido de la vertical,  $k$  es número total de puntos de registró

$v_{media} = (v_1 + v_2 \dots + v_i) / i$  o de velocidad en la vertical,  $\Delta w_i$  es ancho de la subsección.

**Tabla 14***Protocolo del correntómetro*

Tirante de agua (d)	Profundidad de lectura del correntómetro
cm	cm
< 15	d/2
15 < d < 45	0.6 d
> 45	0.2 d y 0.8 d o 0.2 d; 0.6 d y 0.8 d

*Nota.* Se obtuvo de Protocolo nacional de monitoreo de agua (ANA, 2016)

La velocidad media, en la sección se calculó con las sumas de múltiples medidas divididas por el número de mediciones:

$$v_{media} = (v_1 + v_2 + \dots + v_i) / i$$

Donde  $i$ , es el número de mediciones en un segmento.

### Ecuaciones semiempíricas

Teniendo como referencia el estudio de la literatura concerniente al rango y exactitud de la resistencia al flujo con la ecuación de rugosidad. Se realizó una distribución en tres categorías: categoría uno de acuerdo al percentil granulométrico, categoría dos de acuerdo a la sumersión relativa potencial, categoría tres justificadas por sumersión relativa – logarítmica.

#### Categoría 1. Percentil granulométrico

$$\text{Strickler (1923)} \quad n = \frac{1}{21.1} d_{50}^{1/6}$$

$$\text{Meyer-Peter and Muller (1948)} \quad n = \frac{1}{26} d_{90}^{1/6}$$

$$\text{Lane \& Carlson (1953)} \quad n = 0.047 d_{75}^{1/6}$$

$$\text{Henderson (1966)} \quad n = 0.031 d_{75}^{1/6}$$

$$\text{Subramanya (1982)} \quad n = 0.0474 d_{50}^{1/6}$$

$$\text{Julien (2002)} \quad n = 0.038 d_{90}^{1/6}$$

#### Categoría 2. Sumersión relativa potencial

$$\text{Lacey (1946)} \quad n = 0.0928 S^{1/6}$$

$$\text{Froehlich (1978)} \quad n = 0.245 R^{0.14} \left( \frac{R}{d_{50}} \right)^{-0.44} \left( \frac{R}{T} \right)^{0.30}$$

Bray (1982)	$n = 0.104S^{0.177}$
Brownli (1983)	$n = \left[ 1.893 \left( \frac{R}{d_{50}} \right)^{0.1374} S^{0.1112} \right] 0.034(d_{50})^{0.167}$
Jarret (1984)	$n = 0.32S^{0.38} R^{-0.16}$
Bruschin (1985)	$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{12.38 \left( R \frac{S}{d_{50}} \right)^{1/7.3}}$

Categoría 3. Sumersión relativa – Logarítmica

Limerinous (1970)	$n = \frac{0.113R^{1/6}}{0.35 + 2.0 \log \left( \frac{R}{d_{50}} \right)}$
Bray (1979)	$n = \frac{0.113y^{0.166}}{1.09 + 2.2 \log \left( \frac{y}{d_{50}} \right)}$
Griffiths (1981)	$n = \frac{0.113R^{1/6}}{0.76 + 1.98 \log \left( \frac{y}{d_{50}} \right)}$
Bathurst (1985)	$n = \frac{0.3194R^{1/6}}{4.0 + 5.62 \log \left( \frac{R}{d_{84}} \right)}$
Barry (2005)	$n = \frac{0.11(y)^{1/6}}{1.09 + 2.2 \log \left( \frac{y}{d_{50}} \right)}$

Hec-Ras (2016)

$$n = \frac{R^{1/6}}{18 + \log\left(12.2 \frac{R}{d_{50}}\right)}$$

Donde n es el coeficiente de macro rugosidad fluvial,  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{84}$ ,  $d_{90}$  es el percentil granulométrico, S es la pendiente de fricción (m/m), R es el radio hidráulico (m), y es el nivel de la superficie del agua en la sección (m).

### Modelo numérico HEC-RAS

Se utilizó el software HEC-RAS V.6.2 (Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU.) es una herramienta de modelado numérica que resuelve la ecuación de Saint-Venant que consta de sistemas de derivadas parciales de continuidad y momentum con la finalidad del análisis unidimensional y bidimensional.

En canales abiertos, las leyes de conservación de masa y momento se describieron para calcular la superficie libre del agua en flujos estacionarios e inestables (Kilania & Chahar, 2019).

Se realizó el modelo unidimensional, fue necesario recopilar los datos para la digitalización en el área de estudio.

Para elaborar una reproducción hidráulica en la zona en estudio se realizaron simulaciones, la cual se procesó en tres pasos, se introduce la geometría los datos topográficos de la zona se obtienen del DEM (modelo digital de elevación) que fue solicitado a PeruSAT-1 con dicha información se obtuvo un panorama geo espacial de la zona con la utilización de la interfaz RAS Mapper.

La introducción de la rugosidad se generó previamente en ArcGIS con una imagen en jpg, se delimitaron las zonas de distintas texturas para con polígonos cerrarlas y colocar un valor de rugosidad obtenido de tablas y luego llevarlo a un formato shapefile.

En el software HEC-RAS, se ingresa al RAS Mapper, donde se programa con un archivo de proyección de la zona de estudio, luego se importa el DEM con la selección de Terrain, la rugosidad se importa con Land Cover Layer.

En el DEM se trazó el eje del río, luego se crearon los Bank Lines, enseguida se alinearon los Flow Paths de la llanura de inundación, se generaron secciones, se interpolan las secciones con el coeficiente de macro rugosidad fluvial y se guardaron los cambios de la geometría generada.

El software Geometric Data asocia la geometría creada al proyecto, enseguida se ingresa el caudal, la pendiente del río también se ingresa, se genera el plan y luego se vincula con los diferentes caudales en distintos periodos de retorno, y se generan sus resultados.

El concepto fundamental del modelado 2D en HEC-RAS se utilizó el enfoque de batimetría subcuadrícula y discretización híbrida para simular la inundación del río y áreas adyacentes solo a lo largo del canal, El uso de una malla computacional es la base del modelado de llanuras aluviales en 2D.

El botón Editor de área de flujo 2D se puede usar para ajustar los detalles espaciales del polígono. Los detalles espaciales incluyen los tamaños de cada celda de flujo 2D y los valores de macro rugosidad fluvial (Yazdan et al., 2022), en RAS Mapper es una aplicación del software HEC-RAS, se importó un DEM de la zona para generar el terreno donde se incluye el canal, con sus respectivos datos batimétricos, se utilizó la cobertura de rugosidad de  $n = 0.030$  para el modelo homogéneo y una cobertura mixta para el modelo espacial en formato shapefile para asociar la cobertura del terreno y datos geométricos, para calcular la pérdida por fricción a lo largo de la superficie tanto en modelo estático como espacial.

Para generar el mallado, luego el proceso para establecer los cálculos de la simulación. Los caudales utilizados son tomados en tres periodos distintos para la modelación.

El desarrollo de la etapa uno se realizó con la finalidad de automatizar las simulaciones del modelo bidimensional de HEC-RAS para variar los coeficientes de rugosidad de Manning, realizar múltiples simulaciones y manipular los datos de salida del modelo que ejecutaron un mapeo de inundaciones.

### **Algoritmos evolutivos de programación de expresión genética (GEP)**

Para formar la población inicial, primero se genera un conjunto de cromosomas aleatorios. Cada elemento de las cadenas de longitud fija se asigna aleatoriamente para cada cromosoma de la población inicial en función del tipo de elemento.

Cada cromosoma se representa con un vector de símbolos de longitud determinada. La "cabeza" y la "cola" son las dos partes del vector. Cada elemento de la "cabeza" puede ser un terminal o una función, mientras que cada elemento de la "cola" solo puede ser un terminal.

Los miembros de la nueva familia experimentan transformaciones de desarrollo como la expresión de genomas, la confrontación con el entorno de selección y la reproducción con modificación. Estos procesos se repiten una y otra vez durante un número predeterminado de generaciones o hasta que se obtiene un resultado deseado.

Se puede utilizar un esquema de recorrido en amplitud para convertir cada cromosoma en un árbol de expresión (ET); el cromosoma expresado puede convertirse en un ET, que también se exprese en una fórmula matemática.

Los algoritmos evolutivos, como GEP, comienzan con un grupo de individuos. Una base de datos de observaciones y experimentos de diferentes condiciones hidráulicas con resultados confiables constituye la población de cromosomas de los individuos.

Se muestra un conjunto de datos que incluye 60 datos del tema de investigación, totalizando 9693 datos.

**Tabla 15**

*Rango de datos.*

<b>Parámetros</b>	<b>USACE (1935)</b>	<b>Yochum et al. (2012)</b>	<b>Yochum et al. (2014)</b>
Y (m)	0.002 – 0.208	0.100 – 0.530	0.080 – 0.570
B (m)	0.705 – 0.736	0.700 – 4.000	0.700 – 5.800
A (m <sup>2</sup> )	0.002 – 0.147	0.040 – 1.200	0.080 – 1.630
R (m)	0.003 – 0.131	0.050 – 0.026	0.050 – 0.380
S (m/m)	0.001 – 0.020	0.015 – 0.200	0.015 – 0.208
V (m/s)	0.021 – 0.811	0.110 – 1.320	0.120 – 1.610
NF	0.014 – 0.973	0.102 – 0.684	0.130 - 0.920
Q (m <sup>3</sup> /s)	0.005 – 46.721	0.007 – 0.610	0.001 – 1.860
Macro rugosidad	0.007 – 0.214	0.007 – 0.610	0.001 – 1.860
<b>Total</b>	<b>8127</b>	<b>531</b>	<b>495</b>

*Nota.* Los datos se recopilaron en orden cronológico de las siguientes bibliografías: libro del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. “Velocity prediction in high-gradient channels” (1935), United States Department of Agriculture, “Photographic Guidance for Selecting Flow Resistance Coefficients in High-Gradient Channels” (2012), Journal of Hydrology, “Studies of River Bed Materials and Their Movement with Special Reference to the Lower Mississippi River”, 2014.

Los parámetros introducidos son las siguientes variables son: tirante ( $y$ ), espejo del cauce (B), sección del río (A), radio hidráulico (R), pendiente de alcance (S), velocidad promedio de alcance (V), número de Froude (NF), caudal (Q), el valor de macro rugosidad fluvial toma la función de variable de respuesta.

### **Modelo de calibración**

La resistencia al flujo e incertidumbre de los modelos, la calibración se ejecutó por el error medio absoluto (MAE), error medio porcentual absoluto (MAPE), raíz del error cuadrático medio (RMSE), calcula el error entre dos grupos de datos, comparar un valor predeterminado con un valor que se ha visto o ha sido identificado por la ecuación, coeficiente de determinación ( $R^2$ ),  $R^2$  afirma que la variable independiente X representa la proporción o el porcentaje de la variación total de la variable dependiente Y.

### **Diagrama de Taylor**

El diagrama de Taylor mostró cómo se cuantifica la similitud entre dos patrones en términos de su correlación, su diferencia de raíz cuadrada media (RMSE), la amplitud de sus variaciones (representada por sus desviaciones estándar). Un solo punto en un gráfico bidimensional (2D) representa las celdas de la cuadrícula y la diferencia de la raíz cuadrada media (RMS) entre los dos campos, también se muestra la relación de las desviaciones estándar de los dos patrones (Taylor, 2001). La razón por la que cada punto en el espacio bidimensional del diagrama de Taylor puede representar tres estadísticas diferentes al mismo tiempo es porque estas estadísticas están relacionadas por la fórmula siguiente:

$$E^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_rR$$

La construcción del diagrama (con la correlación dada por el coseno del ángulo azimutal) se basa en la similitud de la ecuación anterior y la Ley de Cosenos:

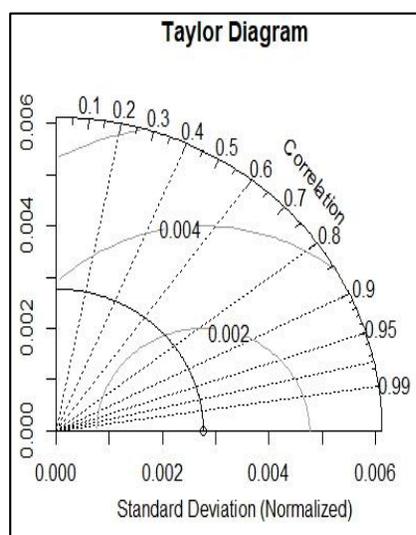
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \phi$$

Donde:  $E^2$  es la diferencia RMSE centrada entre los campos  $\sigma_f$ ,  $\sigma_r$  son las varianzas de la prueba y la referencia de campos, respectivamente,  $a$ ,  $b$  y  $c$  que son las longitudes de los lados de un triángulo,  $\phi$  el ángulo opuesto al lado  $c$ .

En conjunto, estas estadísticas proporcionan un resumen rápido del grado de correspondencia de patrones, lo que permite evaluar la precisión con la que un modelo simula el sistema observado. Para evaluar los méritos relativos de los modelos en competencia y monitorear el desempeño general a medida que evoluciona un modelo, el diagrama es particularmente útil. El coeficiente de correlación de Pearson, que se utilizará para simular el diagrama de Taylor en el software RStudio.

### Figura 9

*Diagrama de Taylor*



*Nota.* La figura muestra patrones estadísticos. Tomado de Zhogfeng, 2016.

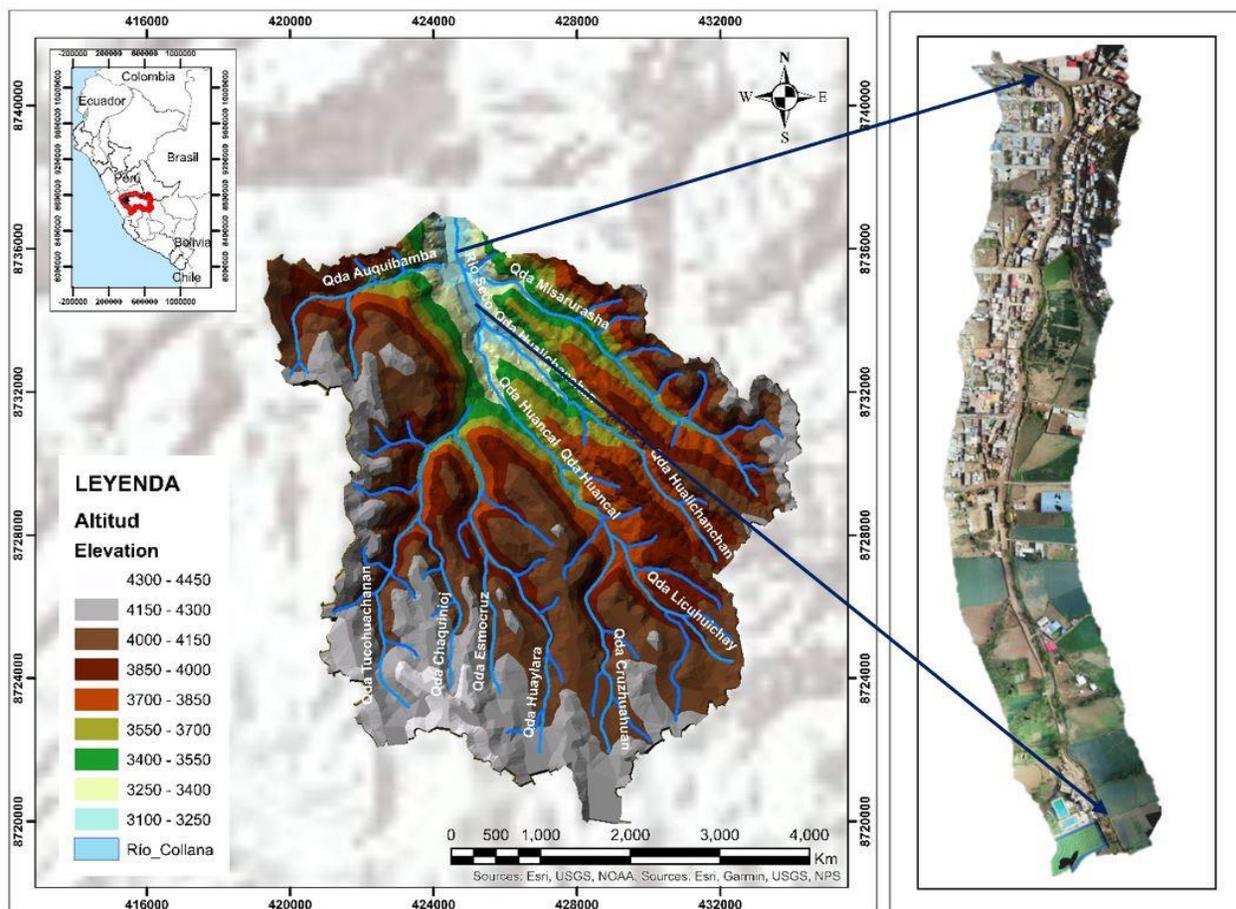
## CAPÍTULO VI. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Resultados

Esta investigación se realizó en un tramo de 1 km a lo largo del río Collana, los datos de campo fueron medidos: Se realizó el levantamiento topográfico, análisis granulométrico, mediciones de velocidad y profundidad. El tramo en estudio inicia en las coordenadas 424628.63 m E, 8736657.58 m S, a una altitud de 3050 m.s.n.m., frente al I.S.T. Adolfo Viernich, finalizando en las coordenadas 424706.53 m E, 8735543.82 m S, a una altitud de 3090 m.s.n.m. ubicado en el distrito de Tarma la zona en estudio se observa en la figura 14.

**Figura 10**

*Río Collana*



### *Levantamiento topográfico*

Se ejecutó el levantamiento topográfico con un plan de vuelo con dron Phantom 4Pro ubicando un punto estratégico, el cual se localizó en el centro del tramo de 1 km de la zona en estudio del río Collana. Las mediciones se obtuvieron con la fotogrametría del dron, el cual se ejecutó con un vuelo realizado en tiempo de 10 minutos, los puntos de control para georreferenciar las imágenes son registrados en la tabla 4.

**Tabla 16**

*Puntos de control*

<b>Puntos de control – PHANTON 4PRO</b>			
<b>PC</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
PC-01	8735643.492	424611.963	3092.581
PC-02	8736165.224	424560.928	3082.175
PC-03	8735908.718	424601.527	3087.609
PC-04	8735592.73	424685.944	3092.806
PC-05	8735631.399	424683.701	3094.247
PC-06	8736178.648	424572.558	3082.063
PC-07	8736213.547	424580.368	3080.267
PC-08	8736532.912	424628.946	3071.307
PC-09	8736665.06	424670.102	3074.95

Las 154 orto fotos corresponden a las coordenadas UTM 84, WG 18 sur, el software que se empleó para el procesamiento de datos, fue el Pix4Dmapper, este es un software profesional de fotogrametría de mapeo con drones que convierte imágenes en modelos espaciales digitales,

Pix4Dmapper es una herramienta de fotogrametría que genera nubes de puntos comunes a partir de un conjunto de imágenes con superposición para crear orto mosaicos, MDT y MDS para crear cartografía 2D y modelos 3D proporciona una data de 2000000 puntos.

### Figura 11

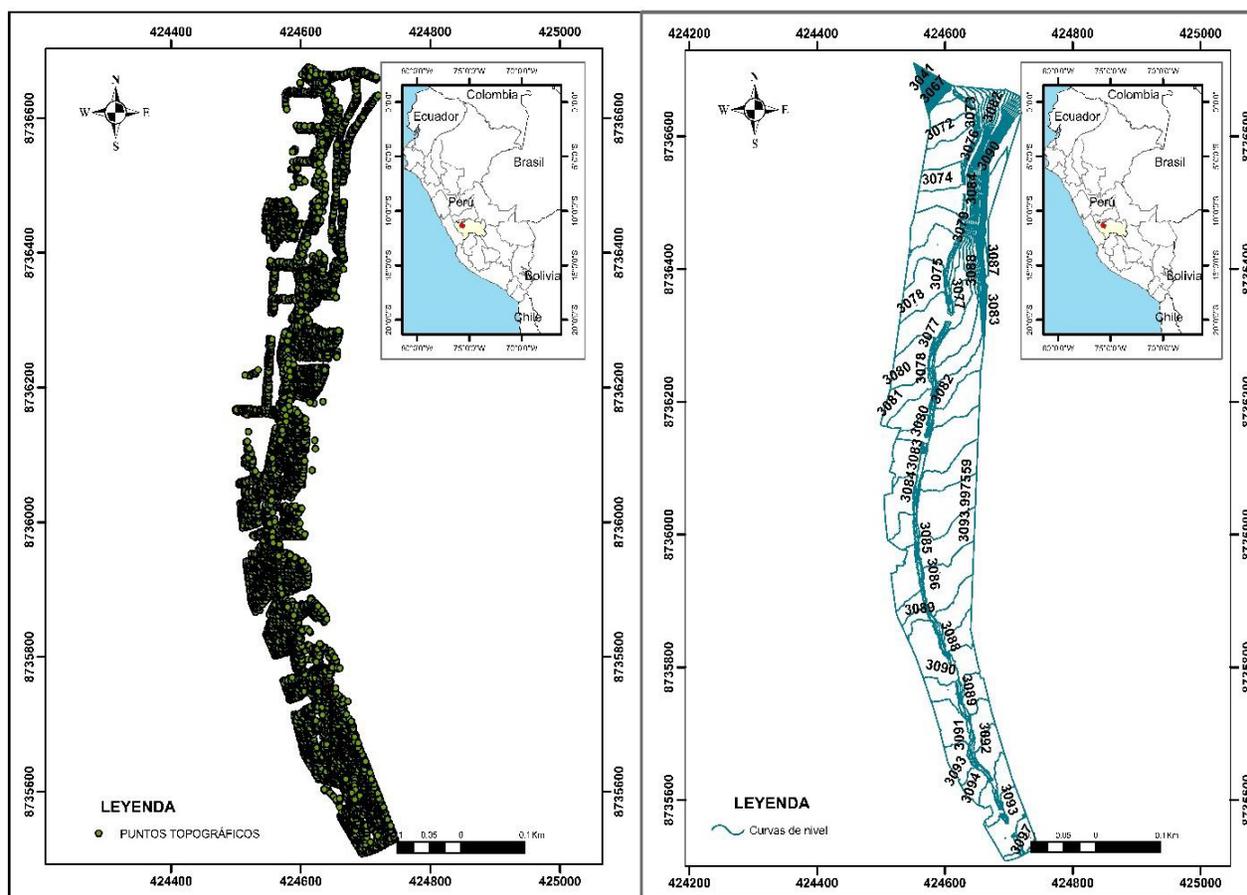
*Fotometría del río Collana con dron Phantom 4Pro*



Con los puntos obtenidos, proporcionados por el dron Phantom 4Pro se ingresaron y procesados en el programa Autodesk Civil 3D, con dichos datos se creó una superficie con curvas de nivel con una equidistancia de 2 metros de separación de curvas de nivel, el siguiente paso fue trazar la línea de eje del río Collana, así se obtuvo el perfil longitudinal del río en estudio, dichos resultados se observan en la figura 24

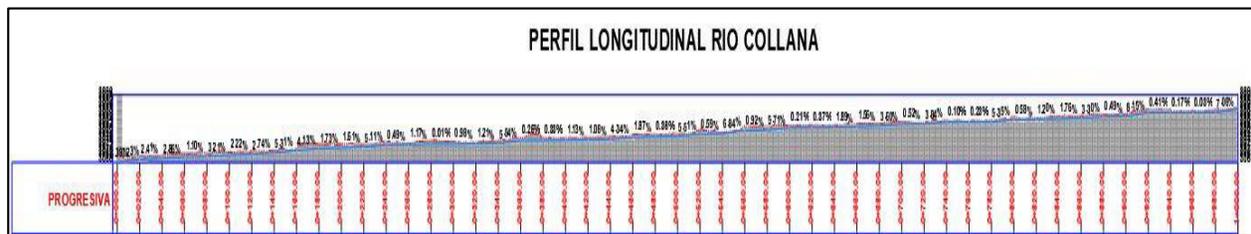
**Figura 12**

*Puntos y curvas de nivel del río Collana*



**Figura 13**

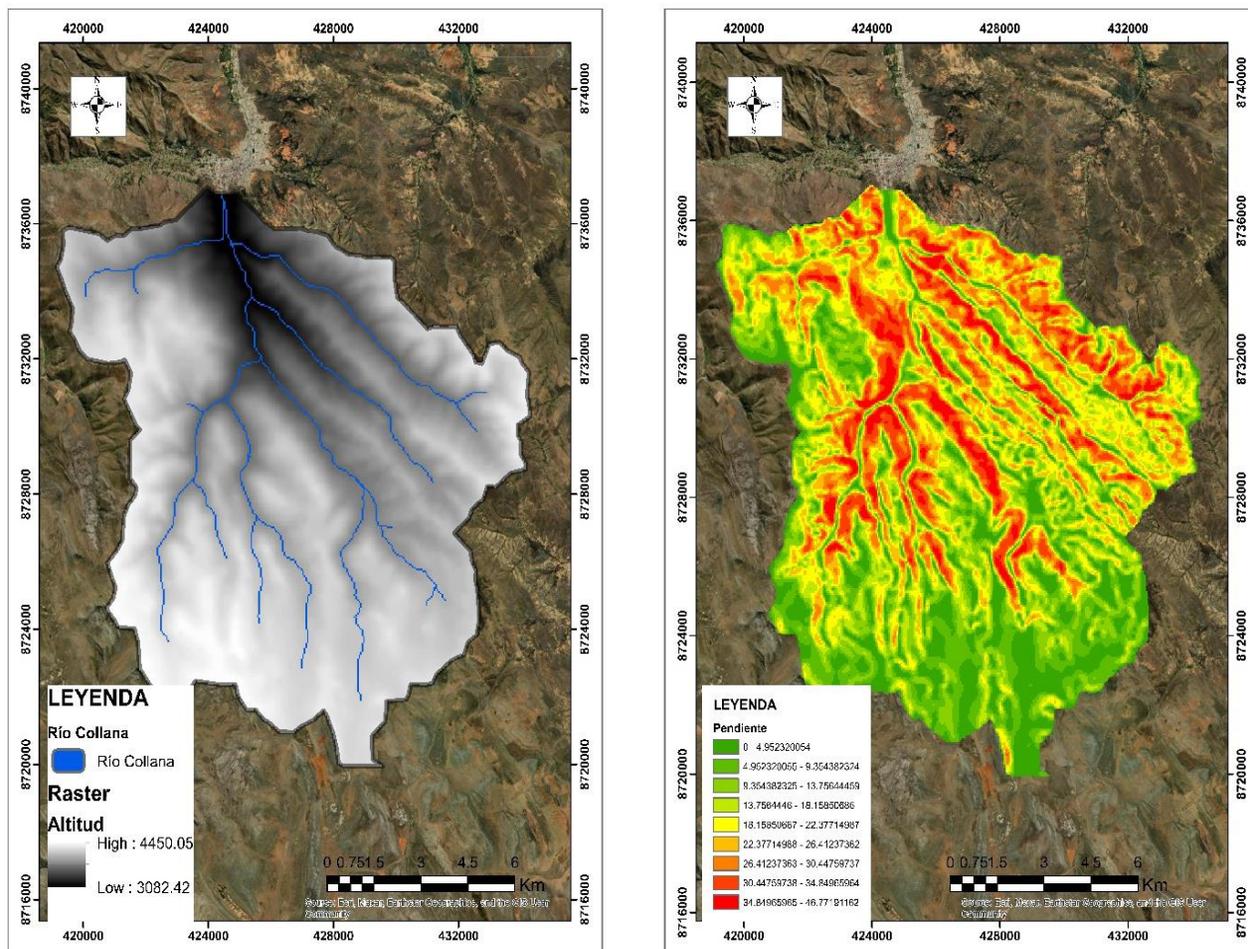
*Perfil longitudinal*



*Parámetros hidrológicos*

**Figura 14**

*Formato DEM de la microcuenca y frecuencia de las pendientes.*



### ***Factores morfométricos***

Se ejecutó la cuenca del río Collana como muestra la figura 26 con los datos obtenidos, la cuenca de tipo exorreica, los resultados morfométricos, donde el área es de 163.27 km<sup>2</sup> clasificada como de pequeña (Burgos, 2018) el perímetro de la cuenca del río Collana es de 62.33 km, la longitud del cauce principal es de 16.74 km, mientras que la pendiente del cauce principal es de 2.2%, su cota mínima es de 3082.42 m.s.n.m. y su cota máxima es de 4450.05 m clasificado como una cuenca montañosa, el índice de compacidad es de 1.35 donde el K<sub>c</sub> es mayor que uno, por lo cual la cuenca es menos propensa a inundación, según De et al.(2004), el rango describe una cuenca de forma oval según Gaspari et al., (2012), el factor de forma fue de 0.56 el rango donde se encuentra el valor es de forma ligeramente ensanchada, según De et al.(2004), en otro punto de vista, la clasificación es amplia con una producción sostenida de canal y potencial a crecidas alto Burgos (2018), los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 17**

#### *Parámetros geomorfológicos*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área (A)	km <sup>2</sup>	163.27
Perímetro (P)	km	61.33
Longitud de la cuenca (L <sub>c</sub> )	km	17.01
Longitud del cauce principal (L)	km	16.74
Pendiente (S)	m/m	0.058
Cota mínima (m.s.n.m)	m	3070.54
Cota máxima (m.s.n.m)	m	4451.75
Índice de compacidad (K <sub>c</sub> )	Km/km	1.35

Factor de forma (F)	Km/km	0.56
---------------------	-------	------

---

### ***Análisis de consistencia de precipitación***

**Medidas pluviométricas.** La precipitación en la zona de estudio se obtuvo de la Estación Climatológica Automática (ECA) para un periodo de estudio de 22 años desde el 2001 – 2023, fue utilizada la base de datos de la estación ubicada en el departamento de Junín provincia de Tarma, distrito de Tarma de latitud 11°23'48.19'', longitud 75°41'23.69'' altitud 3025 m.s.n.m. código 47257764 administrada por, se utilizaron los registros de “climatología diaria”. La precipitación máxima anual.

SENAMHI-JUNÍN, la información pluviométrica se encontró en su portal siendo acceso de libre. Específicamente, se utilizaron los registros de “climatología diaria”. La precipitación máxima anual se dio en el año 2020, donde en los tres últimos años la precipitación ha disminuido, los meses que presentaron mayor promedio de precipitación son diciembre, enero, febrero, marzo.

**Tabla 18***Registro de precipitaciones diario máximo*

<b>Año</b>	<b>En</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agto</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Pptn. máx. anual</b>
2001	8.50	22.40	10.90	4.30	15.00	1.70	1.80	4.40	0.90	5.60	0.30	7.20	22.40
2002	1.70	21.60	12.10	8.20	3.30	0.90	5.70	1.60	5.40	10.40	9.40	3.90	21.60
2003	6.70	8.50	15.90	12.00	2.80	2.20	1.40	3.60	5.10	4.70	3.20	8.50	15.90
2004	11.00	11.10	5.60	4.30	2.60	2.40	9.20	1.40	0.40	4.40	2.90	6.80	11.10
2005	5.90	1.60	4.10	1.50	0.50	0.70	3.10	1.60	1.90	8.70	8.70	17.90	17.90
2006	22.40	12.20	11.80	14.20	0.10	3.30	2.10	3.60	2.00	10.30	10.70	8.50	22.40
2007	9.20	28.70	13.00	2.50	9.50	0.80	5.20	1.00	0.50	17.20	5.70	9.76	28.70
2008	10.00	17.53	14.13	12.50	4.20	1.20	0.10	0.90	5.20	7.40	23.00	13.80	17.53
2009	15.80	13.90	5.70	16.2	4.50	0.20	2.70	6.40	1.70	4.60	13.60	13.80	15.80
2010	11.40	11.30	11.30	9.90	2.50	1.30	0.70	2.80	4.80	14.90	4.00	12.00	14.90
2011	13.90	18.20	13.90	5.90	2.90	1.10	1.80	2.60	3.96	2.70	6.60	17.40	18.20
2012	12.20	13.40	8.50	15.00	1.10	1.60	4.30	5.00	6.30	6.20	6.40	12.30	15.00

2013	10.90	20.70	12.30	3.60	2.10	1.90	4.60	1.04	2.05	5.90	13.00	15.20	20.70
2014	14.40	17.00	12.26	6.09	2.05	0.90	4.60	2.70	6.00	3.10	7.10	12.00	17.00
2015	5.30	10.70	7.90	9.70	7.50	0.40	3.20	4.10	4.10	2.00	15.00	8.00	15.00
2016	9.70	5.80	15.00	19.20	0.60	1.20	4.00	0.20	2.70	8.80	3.60	5.20	19.20
2017	12.90	18.20	13.50	4.60	10.30	1.80	5.10	0.63	3.06	15.00	4.07	6.57	18.20
2018	10.60	13.28	9.92	8.07	10.90	1.50	2.90	2.45	2.59	9.10	20.00	17.30	17.30
2019	10.30	21.90	24.00	9.50	3.00	2.20	0.90	1.20	7.60	16.20	3.50	12.00	24.00
2020	18.00	31.00	20.00	19.90	8.70	4.50	6.00	0.00	6.30	2.30	8.10	11.00	31.00
2021	5.60	2.10	5.70	7.50	0.40	0.30	0.30	0.30	3.20	3.50	3.50	6.50	7.50
2022	7.80	7.20	5.90	4.30	3.40	2.30	0.40	1.40	1.40	2.90	1.50	6.20	7.80
2023	5.10	4.30	8.40	2.10	5.40	0	0	4.60	2.40	3.30	3.30	6.10	8.40
<b>Máx.</b>	22.40	31.00	24.00	19.90	15.00	4.50	9.20	6.40	7.60	17.20	23.00	17.90	
<b>Mín.</b>	1.70	1.60	4.10	1.50	0.10	0.00	0.00	0.00	0.40	2.00	0.30	3.9	
$\bar{X}$	10.40	14.46	11.38	8.74	4.49	1.50	3.00	2.33	3.46	7.36	7.70	10.30	
$\sigma$	4.62	7.85	4.78	5.40	3.97	1.00	2.30	1.74	2.06	4.72	5.87	417	

### *Análisis de datos pluviométricos*

Las precipitaciones máximas de 24 horas están representadas mediante funciones. La homogeneidad se puede determinar a través de un nivel de valor en las estadísticas, ya sean paramétricas o no paramétricas.

La significancia del 5% con un p-valor  $\sigma$  mayor a 0.05 siendo más alta que el valor Z, con una confianza del 95% por lo tanto, se descarta la hipótesis alternativa. A través del programa Trend se determinó que no hay tendencia ni saltos en la data obtenida. El resultado obtenido respalda la hipótesis nula  $H_0$  y rechaza la hipótesis alternativa  $H_a$ , además se evidencia a partir de las pruebas, los resultados tienen una tendencia de normalidad, existen evidencias de una tendencia hacia la estadística de regresión lineal, de las pruebas de Mann-Kendall y Spearman's Rho se aprecian los resultados en la tabla 19.

**Tabla 19**

#### *Análisis estadístico de la serie histórica*

<b>Test estadístico</b>	<b>Z</b>	<b><math>\alpha = 5\%</math></b>	<b>Tipo de prueba</b>	<b>Homogeneidad</b>
Mann-Kendall	-0.778	1.960	No paramétrico	x
Spearman's Rho	-0.728	1.960	No paramétrico	x
Linear regression	-0.698	1.980	Paramétrico	x
Cusum	18	22.594	No paramétrico	x
Cumulative deviation	1.418	1.301	Paramétrico	x
Worsley Likelihood	4.008	3.155	Paramétrico	x
Rank Sum	0.304	1.960	No paramétrico	x
Students t	0.46	1.976	Paramétrico	x
Median Crossing	6.452	1.96	Paramétrico	x

<b>Test estadístico</b>	<b>Z</b>	<b><math>\alpha = 5\%</math></b>	<b>Tipo de prueba</b>	<b>Homogeneidad</b>
Turning Point	-5.109	1.645	Paramétrico	x
Rank Difference	-8.163	1.96	Paramétrico	x
Auto Correlation	8.29	1.96	Paramétrico	x

### *Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas*

El procedimiento estadístico los resultados de prueba de bondad de ajuste de precipitaciones máximas de 24 horas de un análisis Smirnov - Kolmogorov, aplicado a distribución de datos no agrupados de series históricas de precipitación utilizando el software Hydrognomon, las funciones analizadas muestran aproximaciones razonables, la de mayor ajuste es la de Normal, con un menor valor D máximo es la más próxima a la curva y los valores de precipitación, que más se aproxima a la distribución de Normal empírica utilizando el valor de significancia de 5%, muestra el procedimiento estadístico la tabla 20.

**Tabla 20**

*Distribución de mejor ajuste.*

<b>Función de distribución</b>	<b>Teórico</b>	<b>Tabulado</b>
Normal	0,10863	0,29
Log Normal	0,14735	0,29
Gamma	0,1396	0,29
Pearson III	0,21896	0,29
Log Pearson III	0,11958	0,29
Gumbel Max	0,14729	0,29

Gumbel Min	0,16125	0,29
------------	---------	------

### ***Precipitaciones a diferentes periodos de retorno***

Precipitaciones a diferentes periodos de retorno haciendo la prueba de comparación con las diferentes distribuciones teóricas para elegir la más aproximada a los datos base, para el estudio fue la distribución de probabilidad que se ajustó mejor a la serie fue normal resultado generado en el análisis de Smirnov - Kolmogorov en el paso anterior con la que determinó los valores de precipitación máxima para los periodos de retorno de 2,10, 25, 50, 100, 140 y 200 años, las máximas precipitaciones generadas en 24 horas, los resultados son mostrados en la tabla 7.

#### **Tabla 21**

*Distribución de mejor ajuste, con su respectivo periodo de retorno.*

Distribución	Precipitación máxima (mm) por periodo						
	2 años	10 años	25 años	50 años	100 años	140 años	200 años
Normal	17.718	25.304	28.081	29.875	31.4887	32.2206	32.9654

Los valores de precipitación máxima de 32.22 mm y una precipitación máxima corregida de 36.41 mm, en el Tc de 140 años, los resultados son mostrados en la tabla 22.

#### **Tabla 22**

*Precipitaciones máximas corregidas.*

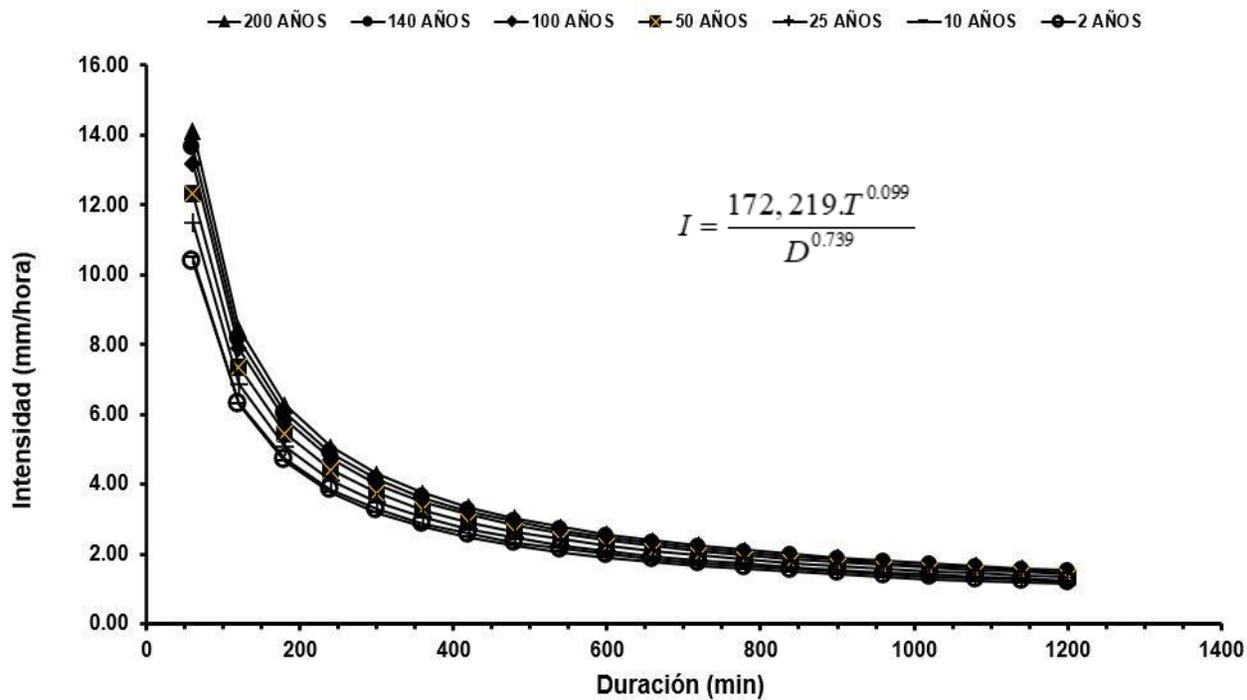
Periodo de retorno (años)	Pptn. máx. (mm)	Pptn. máx. corregido (mm)
2	17.7187	20.02
10	25.3044	28.59
25	28.0813	31.73
50	29.8752	33.76
100	31.4887	35.58
140	32.2206	36.41
200	32.9654	37.25

### *Curvas IDF*

Las curvas utilizaron datos de precipitación máxima de 24 horas, que permite extrapolar información pluviométrica en zona que solo cuenta con información pluviométrica las intensidades se obtuvieron utilizando el modelo de regresión múltiple, para diferente periodo de retorno, con lo cual se obtuvieron sus respectivas gráficas. Este modelo definió la ecuación en función del tiempo del periodo de retorno, el análisis analítico para el cual se empleó la ecuación que se muestra en la figura 29, se utilizó como medida de bondad el ajuste de coeficiente de determinación dando como resultado  $R^2 = 0.992$ , los Tc son de 2, 10, 25, 50, 100, 140, 200 años, en la gráfica nos concentramos en la curva IDF del periodo de retorno de 2, 140, 200 años, como muestra la figura 29, donde se puede apreciar que la de mayor intensidad es de 200 años, como el tiempo la intensidad tiende a disminuir, los resultados son mostrados en la figura 29.

**Figura 15**

*Curvas de intensidad, frecuencia y duración.*

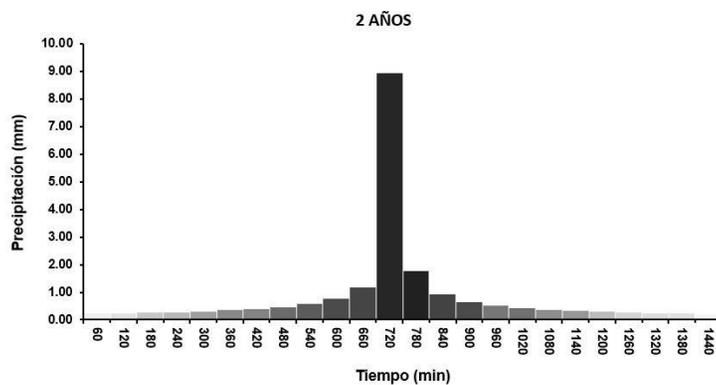


### *Hietogramas*

Mediante el método de bloque alternativo se obtuvieron los hietogramas de frecuencia que se calcularon para periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100, 140, 200 años, los bloques se reordenaron en series de modo que la intensidad máxima ocurre en el centro de la duración, una muestra de los resultados se exhibe en la figura 30.

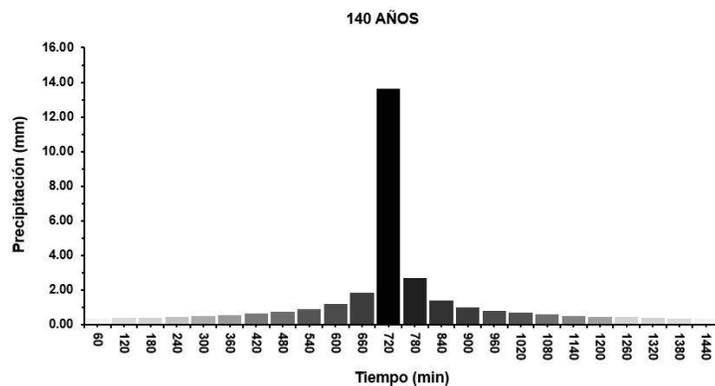
**Figura 16**

*Hietograma de frecuencia dos años.*



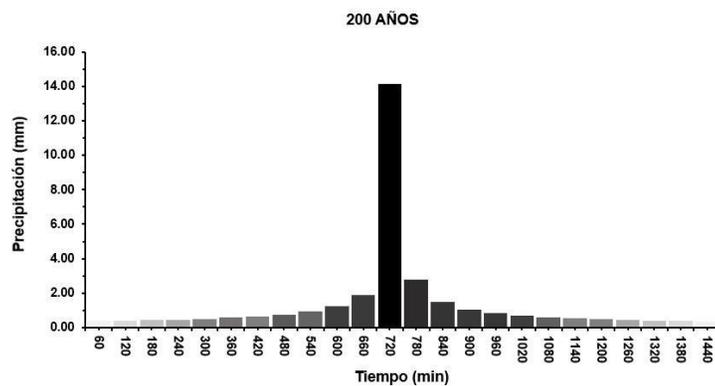
**Figura 17**

*Hietograma de frecuencia ciento cuarenta años.*



**Figura 18**

*Hietograma de frecuencia de doscientos años.*

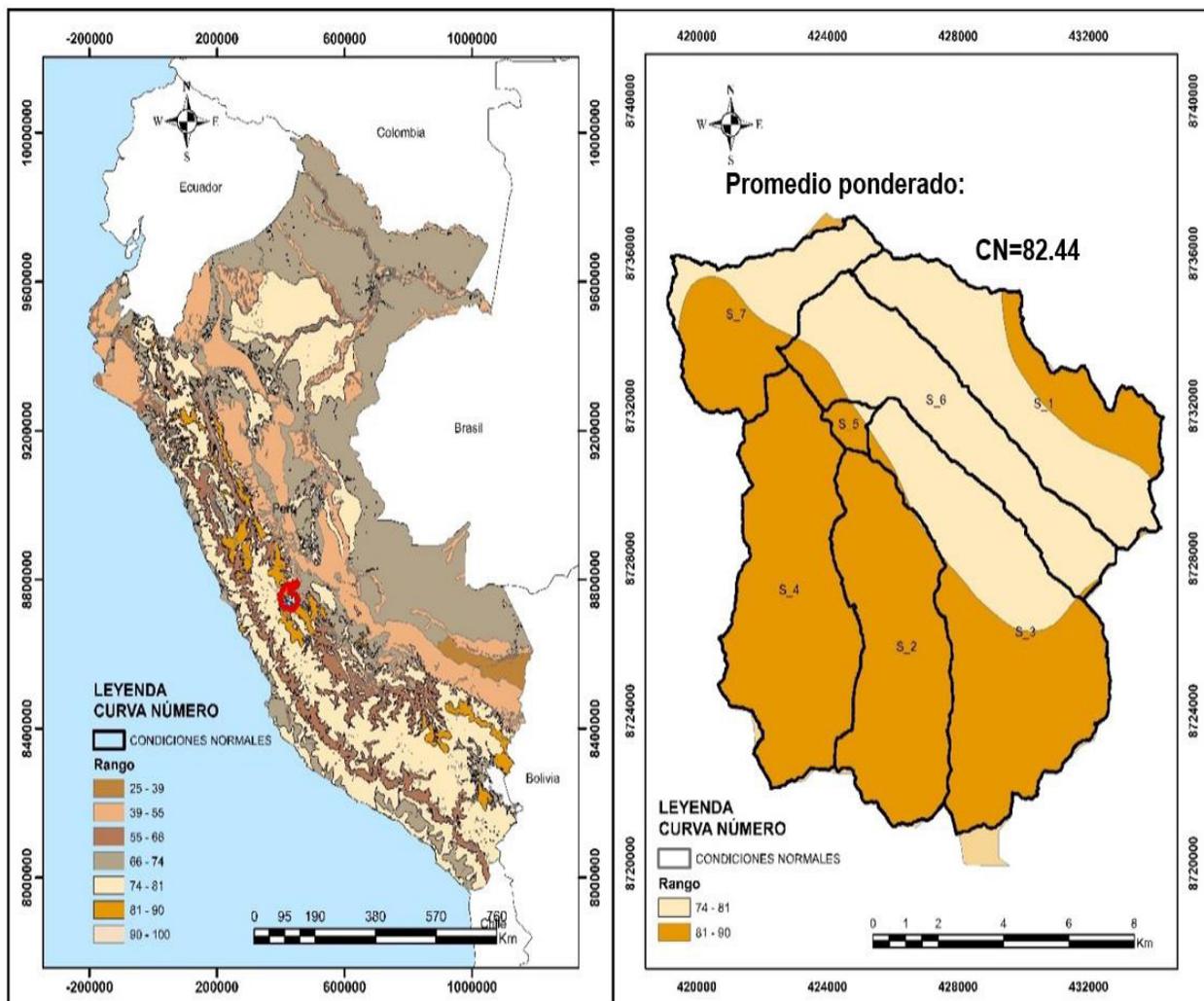


### ***Curva número***

Con el método empírico se calcularon los cambios en la escorrentía de lluvia resultado de observaciones hidrológicas en distintos tipos de suelo en diferentes estados. Compatible con distintas condiciones de humedad. Al diagramar la profundidad de lluvia (P) y la altura del exceso de lluvia o escurrimiento directo (Pe), se observó una curva. Para homogeneizar las curvas, se definió un número de curva adimensional (CN) de modo que se aplicó, un mapa temático de textura y uso, mapa temático de suelos, DEM, los cuales fueron ejecutados por el programa de ARCGIS 10.8.1, la cuenca Collana fue subdividida en microcuencas, en 7 secciones, estas son S\_1, S\_2, S\_3, S\_4, S\_5, S\_6, S\_7 el proceso llamado discretización, dio como resultado un promedio ponderado de  $CN = 82.44$  en condiciones normales.

**Figura 19**

*Promedio ponderado de CN en condiciones normales.*



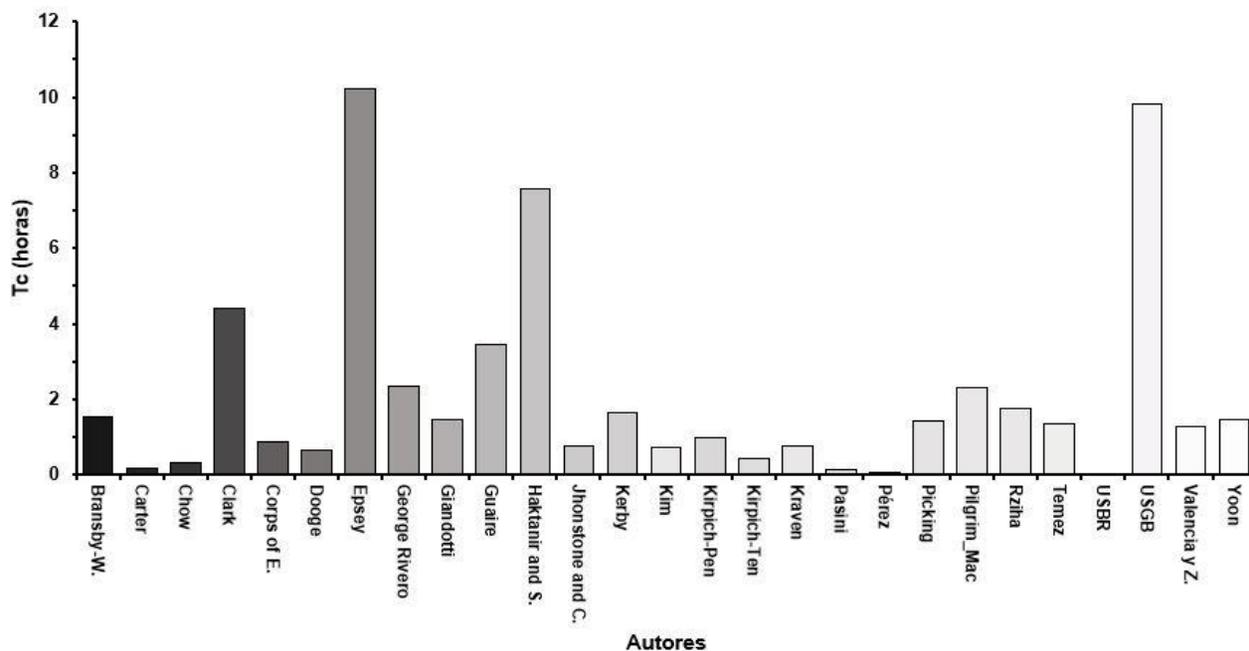
### ***Tiempo de concentración***

Es el tiempo que tarda en llegar al punto de desfogue las precipitaciones caídas en el borde más alejado de la cuenca, las ecuaciones semiempíricas recopiladas fueron un total de 27 fórmulas de diversos autores con distintos parámetros en el planteamiento de sus ecuaciones cuyos resultados se evidencian en la figura 20 con una media de 2.136 horas, el valor de la desviación estándar 2.816 presentó una dispersión muy alta, tanto en el valor máximo del autor Epsy de

10.228 horas como el valor mínimo del autor USBR de 0.029 horas, la desviación estándar de  $t_c$  es 1.3 veces la media.

**Figura 20**

*Resultados semiempíricos, del Tiempo de concentración.*



**Tabla 23**

*Resumen estadístico*

Valor máximo	10.228
Valor mínimo	0.029
$\bar{X}$	2.136
$\sigma$	2.816
Cv (%)	133.586

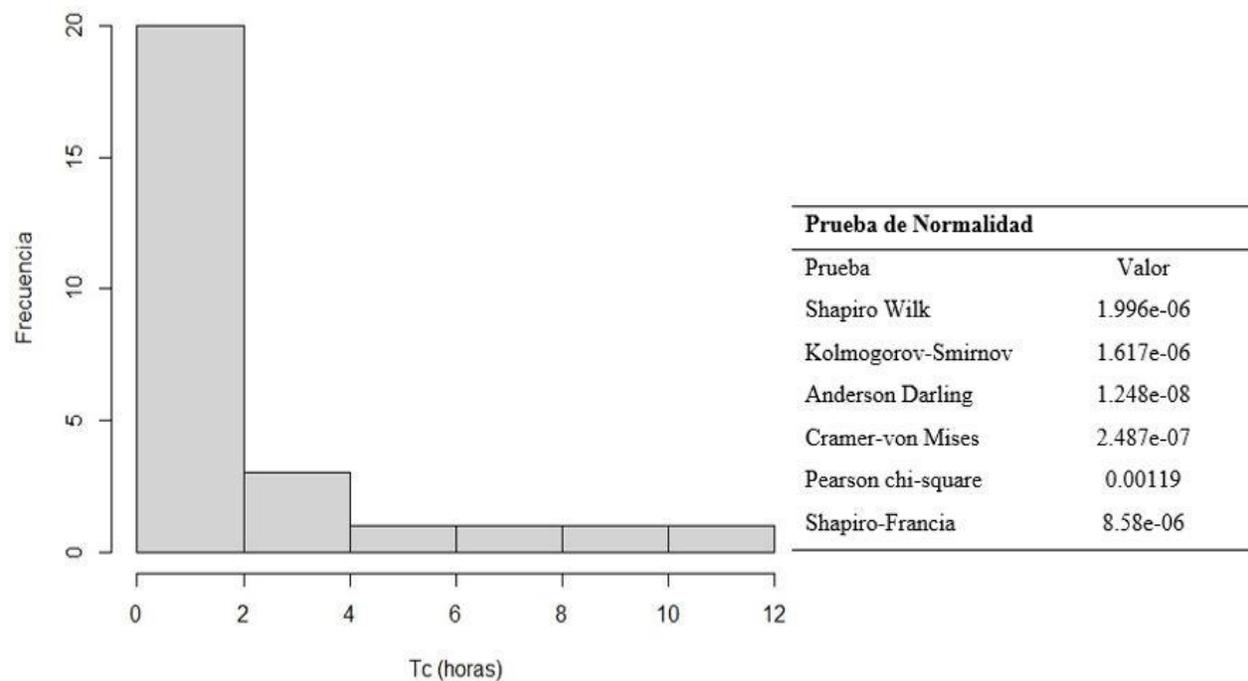
Los datos recopilados, fueron filtrados por la prueba de normalidad, para valorar la normalidad de los datos se utilizaron seis tipos de pruebas: Shapiro-Wilk, Kolmogorov - Smirnov,

Anderson - Darling, Cramer - von Mises, Pearson chi - square, Shapiro - Francia aplicadas a datos semiempíricos de tiempo de concentración el p-valor es mayor que 0.05 un nivel de significancia típico, es una medida de credibilidad de la hipótesis nula sugiere que no tiene adecuada evidencia para rechazar, los datos no muestran desviaciones significativas de normalidad.

Se pudo determinar que los datos de muestras siguen una línea de distribución normal mediante estas pruebas. El software RStudio se utilizó para llevar a cabo estas pruebas; la figura 22 muestra resultados de p-valores menores de 0.05 y un sesgo hacia la derecha, lo que indica que la hipótesis nula fue rechazada y que la prueba de normalidad no fue exitosa.

### Figura 21

*Resultados de prueba de campana de Gauss.*

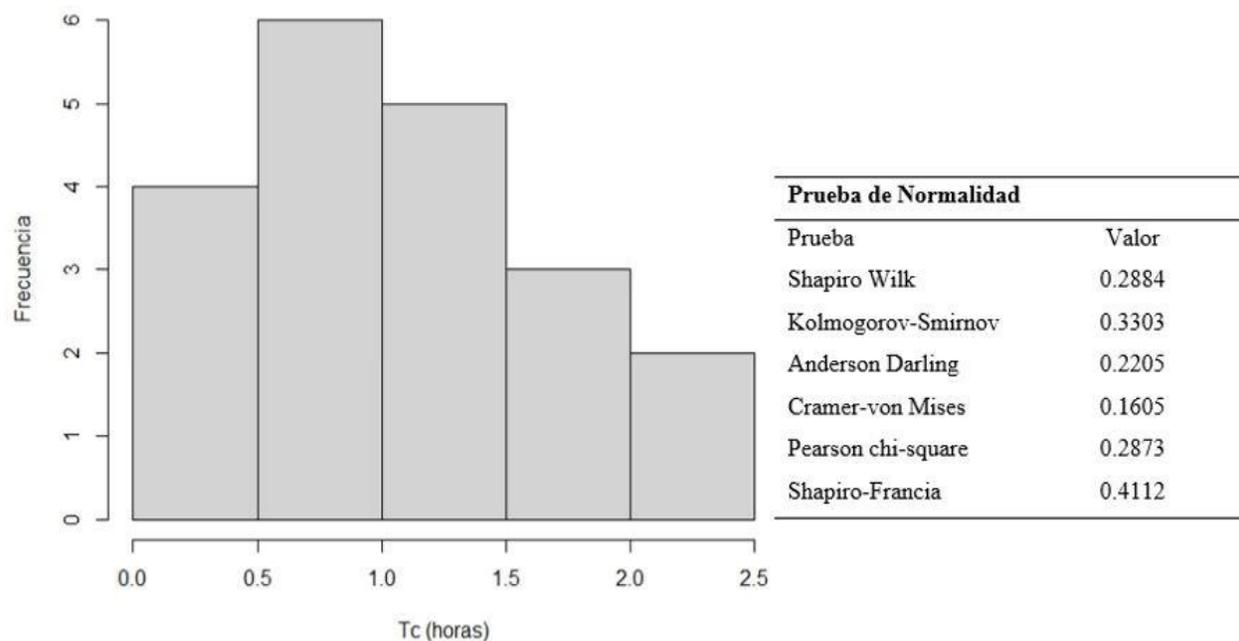


Para comprobar la normalidad o campana de Gauss de los datos con pruebas estadísticas ejecutadas con el software RStudio se eliminaron resultados extremos teniendo como referencia el valor de la media de los datos con dicho procedimiento tal como muestra la figura 23, se validó la

hipótesis nula donde los p-valor son mayores de 0.05, con estas pruebas de normalidad se concluyó que la distribución del Tc es normal, es corroborada con el histograma de los valores de Tc.

## Figura 22

*Resultados de la prueba de campana de modificado Gauss.*



Los resultados filtrados por la campana de Gauss solo se utilizaron veinte ecuaciones de diferentes autores donde el valor máximo fue del autor George Rivero con un tiempo de concentración de 2.346 horas, el valor mínimo fue del autor Pasini con un tiempo de contracción de 0.129 horas, el valor promedio es de 1.116 horas, el valor que se utilizó en la estimación de caudales, la desviación estándar, con un valor de dispersión de 0.644, el coeficiente de variación tuvo un valor de la desviación estándar de 0.57 veces la media, las medidas de dispersión confirmaron la escasa dispersión de los valores. Los resultados se muestran en la tabla 24.

**Tabla 24***Resultado de valores semiempíricas de tiempo de concentración*

	<b>Autor</b>	<b>Tiempo de concentración (horas)</b>
1	Bransby-Williams (1998)	1.528
2	Carter (1961)	0.184
3	Chow (1961)	0.323
4	Corps of Engineers (1977)	0.851
5	Dooge (1973)	0.647
6	George Rivero (1964)	2.346
7	Giandotti (1940)	1.473
8	Jhonstone and Cross (1949)	0.77
9	Kerby (1959)	1.651
10	Kim	0.71
11	Kirpich-Pen (1940)	0.964
12	Kirpich-Ten (1940)	0.432
13	Kraven	0.753
14	Pasini (1914)	0.129
15	Pilgrim_Mac	2.306
16	Picking (2007)	1.423
17	Rziha (1876)	1.758
18	Temez (1987)	1.336
19	Valencia y Zuluaga (1981)	1.272
20	Yoon (2000)	1.457

<b>Autor</b>	<b>Tiempo de concentración (horas)</b>
V. max	2.346
V. min	0.129
$\bar{x}$	1.116
$\sigma$	0.644
Cv%	57.713

### *Estimación de caudales*

#### *Método empírico*

Las precipitaciones máximas en los distintos Tc no coinciden y presenta una dispersión bien marcada. Los resultados se presentan en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Caudales máximo modelo empírico*

<b>Tr (años)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>140</b>	<b>200</b>
Creager	23.4	77.8	108.8	132.3	155.7	167.1	179.1
Teméz	7	33.4	51.8	66.9	83.1	91.3	100.1
Verni- King	8.4	17.8	24.2	29.8	36.3	39.9	43.9

**Método semiempíricos**

**Método racional.** Este método se utilizó con tres variables importantes siendo coeficiente de escorrentía, intensidad de precipitación máxima horaria y el área de drenaje de la cuenca del río Collana los cálculos se exponen en la tabla 25.

**Tabla 26***Resultados máximos de caudales*

<b>Método racional</b>							
Tr (años)	2	10	25	50	100	140	200
Q (m <sup>3</sup> /s)	70.6	71.5	78.2	83.8	89.7	92.8	96.1

**Método racional modificado.** Este método es utilizado en este estudio; sigue la formulación propuesta por Teméz, adaptada a las condiciones climáticas de la zona de estudio. Es ampliamente utilizado en nuestro país, que puede estimar fácilmente los picos de inundación en cuencas pequeñas y medianas. Los resultados se presentan en la tabla 26.

**Tabla 27***Racional modificados máximos caudales.*

<b>Método Racional Modificado</b>							
Tr (años)	2	10	25	50	100	140	200
Q (m <sup>3</sup> /s)	15.7	22.41	24.9	26.4	27.9	28.5	29.2

### *Modelamiento en HEC-HMS*

**Métodos de hidrograma unitario sintético.** Se utilizó el modelo agregado para crear un sistema hidrológico utilizando el software HEC-HMS. Este programa calcula el caudal máximo de inundación en diferentes periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100, 140 y 200 años. los valores no son idénticos en los diferentes periodos de retorno y los caudales no son similares a lo que se observó, los resultados se presentan en la tabla 27.

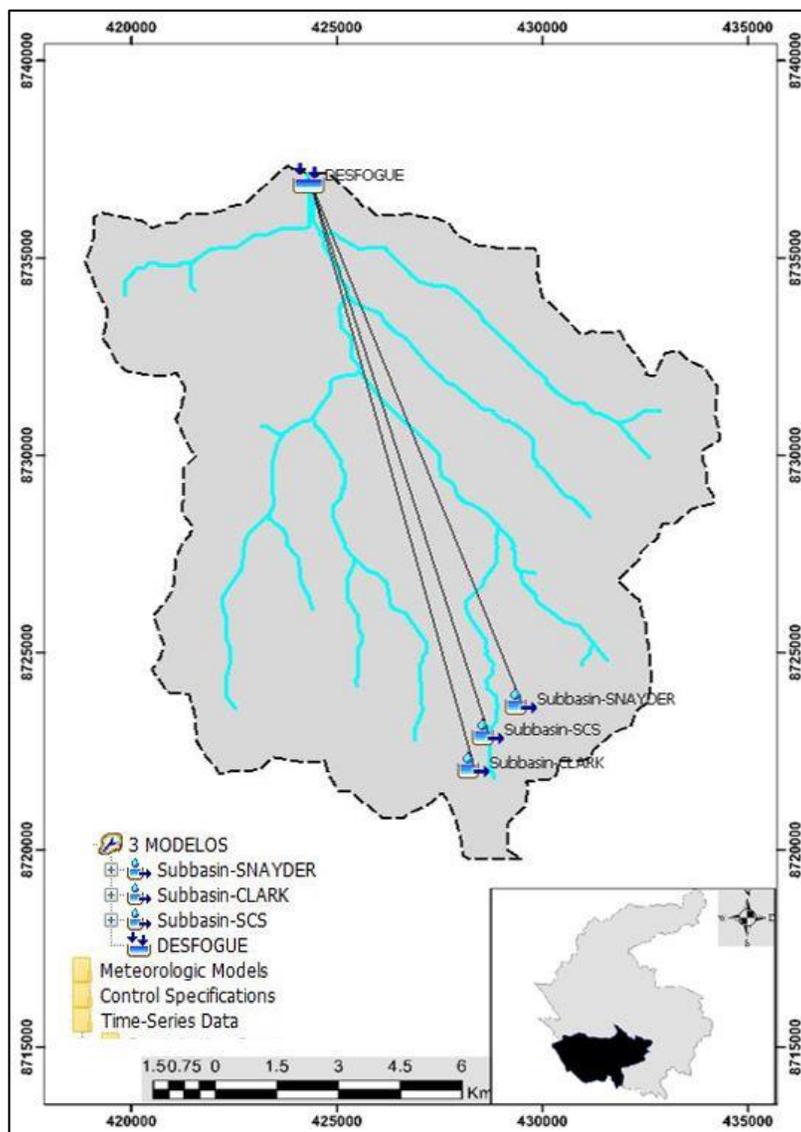
**Tabla 28**

*Caudales máximos método de HUS*

<b>Tiempo de Retorno</b>	<b>Caudales Máximos (m<sup>3</sup>/s)</b>		
	<b>SNAYDER</b>	<b>CLARK</b>	<b>SCS</b>
TR-2	12.4	10	14.8
TR-10	22.5	18.2	29
TR-25	31.2	24.6	42.6
TR-50	39.2	30.8	55.2
TR-100	48.4	38.4	70.1
TR-140	53.4	42.5	78.2
TR-200	59.3	47.4	87.9

**Figura 23**

*Modelo hidrológico agregado*



*Modelo hidrológico agregado*

El modelo agregado semi distribuido, ejecutado en el software HEC-HMS versión 6.2 utilizó el DEM (modelo digital de elevación) de la zona en estudio en formato tif, para enseguida importar de ArcGIS Pro el punto de desfogue en formato shapefile, para luego delinear elementos,

de las subcuencas a generar, HEC-HMS la cuenca de discretizó en siete subcuencas, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 generando el modelo agregado semi definido, se definieron los procesos por los tres métodos, Snyder, Clark, SCS para determinar los caudales máximos en los tiempo de retorno de 2 años, 10 años, 25 años, 50 años, 100 años, 140 años y 200 años en la cuenca Collana.

Se estableció como método de pérdidas el método SCS y como método de transformación lluvia-escorrentía el hidrograma unificado SCS. Este hidrograma depende en su definición exclusivamente del tiempo de concentración de cada una de las subcuencas, la pendiente media y la distancia del cauce principal, los hietogramas que se ejecutaron fueron los de método alterno.

Los resultados muestran que en el tiempo de retorno de 2 años de Snyder con  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , Clark con un valor de  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$  y SCS con el valor de  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , el valor del caudal proporcionado por ANA (Autoridad Nacional del Agua) en periodo normal es de  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo tanto, el resultado que se ajusta al valor observado es el de SCS, valores que serán utilizados en el software de HEC-RAS en el modelado unidimensional, los resultados se presentan en la tabla 28.

**Tabla 29**

*Caudales máximos método hidrológico agregado semi distribuido*

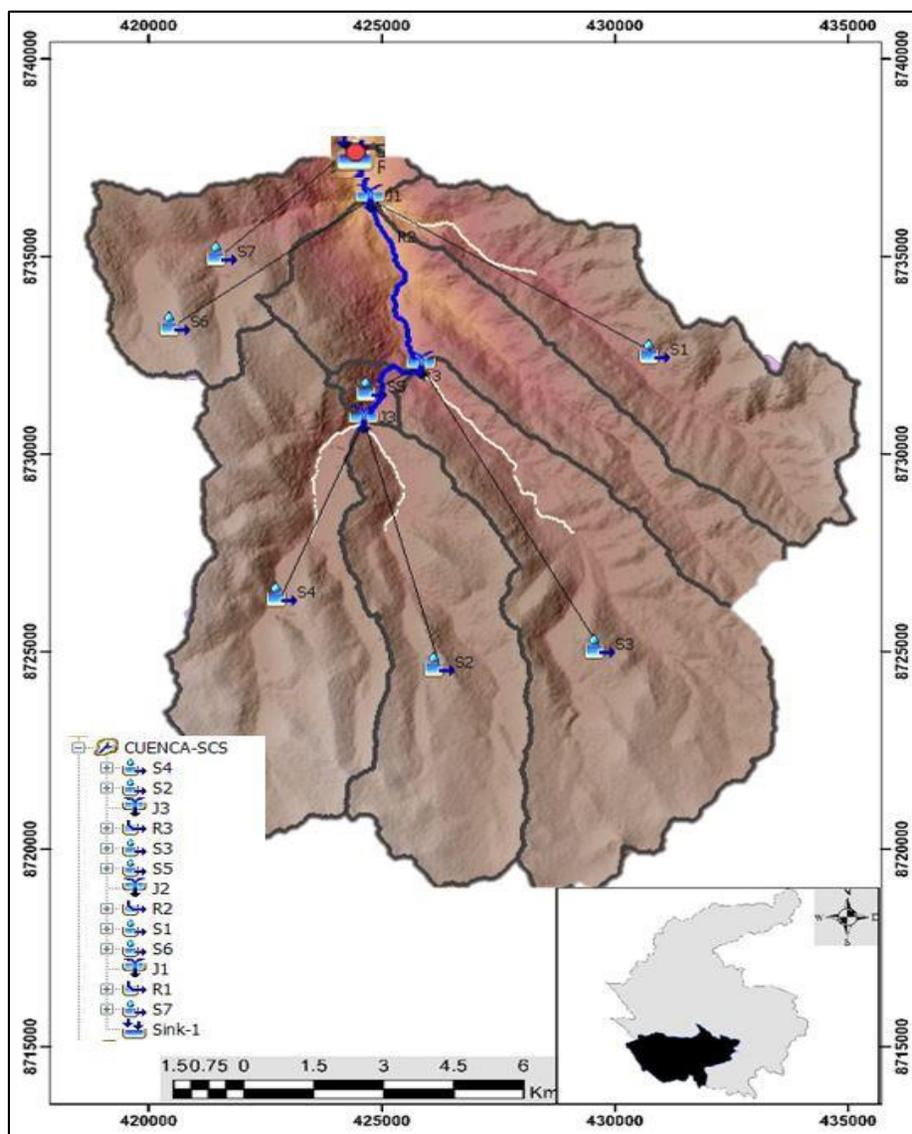
Tiempo de retorno	Caudales Máximos ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		
	Snyder	Clark	SCS
Tr-2	1.8	1.8	2.4
Tr-10	2.1	2.1	2.8
Tr-25	2.3	2.2	3.0
Tr-50	2.5	2.4	3.3
Tr-100	2.9	2.7	3.6
Tr-140	3.1	2.8	3.8

Tr-200

3.5

3.1

4.2

**Figura 24***Modelo hidrológico agregado, semi distribuido*

### *Análisis y visualización del efecto de la macro rugosidad fluvial*

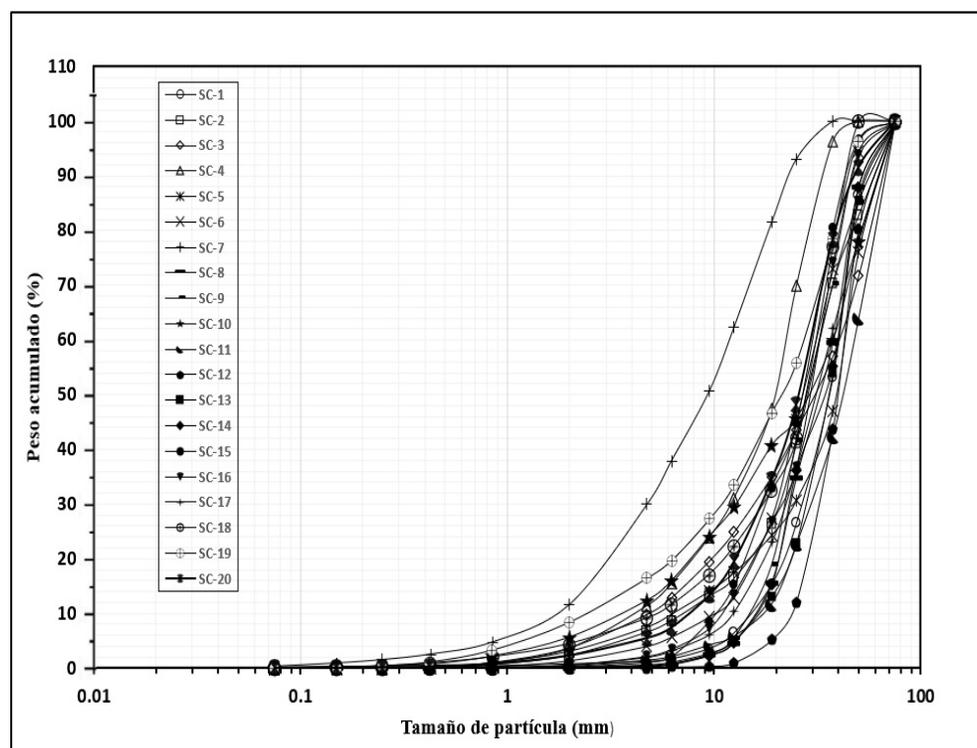
**Análisis granulométricos.** Los análisis de percentiles fueron realizados en el laboratorio de ingeniería de la UCSS (Universidad Católica Sedes Sapientiae), los resultados mostraron el porcentaje granulométrica de los diámetros efectivos de los percentiles respectivos, del material clasificado por la curva granulométrica bajo las NTP 350.001.

Los diámetros efectivos utilizados en las ecuaciones semiempíricas fueron el percentil medio  $d_{50}$  y los percentiles  $d_{65}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{84}$ ,  $d_{90}$ .

La desviación estándar de los percentiles es respectivamente 0.0072, 0.092, 0.0091, 0.0102, 0.0105, el coeficiente de variación es  $d_{50}$  su  $\sigma$  es 0.23 veces la  $\bar{X}$ ,  $d_{65}$  su  $\sigma$  es 0.27 veces la  $\bar{X}$ ,  $d_{75}$  su  $\sigma$  es 0.22 veces la  $\bar{X}$ ,  $d_{84}$  su  $\sigma$  es 0.21 veces la  $\bar{X}$ ,  $d_{90}$  su  $\sigma$  es 0.19 veces la  $\bar{X}$ , la medida de dispersión confirma una pequeña dispersión en los percentiles analizados a priori.

### **Figura 25**

*Percentiles granulométricos.*



**Tabla 30***Percentil granulométrico.*

<b>Sección</b>	<b>d<sub>50</sub> (m)</b>	<b>d<sub>65</sub> (m)</b>	<b>d<sub>75</sub> (m)</b>	<b>d<sub>84</sub> (m)</b>	<b>d<sub>90</sub> (m)</b>
SC-1	0.0360	0.0419	0.0457	0.0490	0.0564
SC-2	0.0288	0.0288	0.0421	0.0516	0.0604
SC-3	0.0309	0.0442	0.0528	0.0608	0.0661
SC-4	0.0197	0.0197	0.0273	0.0316	0.0688
SC-5	0.0387	0.0387	0.0494	0.0581	0.0644
SC-6	0.0271	0.0271	0.0387	0.0439	0.0473
SC-7	0.0093	0.0133	0.0167	0.0202	0.0234
SC-8	0.0326	0.0398	0.0442	0.0481	0.0537
SC-9	0.0285	0.0285	0.0412	0.0487	0.0577
SC-10	0.0288	0.0409	0.0479	0.0568	0.0636
SC-11	0.0418	0.0505	0.0575	0.0638	0.0505
SC-12	0.0396	0.0396	0.0482	0.0548	0.0623
SC-13	0.0359	0.0359	0.0458	0.0493	0.0576
SC-14	0.0340	0.0412	0.0450	0.0485	0.0541
SC-15	0.0268	0.0264	0.0355	0.0401	0.0448
SC-16	0.0294	0.0294	0.0381	0.0438	0.0476
SC-17	0.0316	0.0397	0.0472	0.0562	0.0633
SC-18	0.0278	0.0278	0.0367	0.0412	0.0445
SC-19	0.0295	0.0300	0.0356	0.0414	0.0455
SC-20	0.0257	0.0257	0.0361	0.0428	0.0485

<b>Sección</b>	<b>d<sub>50</sub> (m)</b>	<b>d<sub>65</sub> (m)</b>	<b>d<sub>75</sub> (m)</b>	<b>d<sub>84</sub> (m)</b>	<b>d<sub>90</sub> (m)</b>
$\bar{x}$	0.0301	0.0335	0.0416	0.0475	0.0540
$\sigma$	0.0072	0.0092	0.00911	0.0102	0.0105
Cv %	23.920	27.388	21.915	21.437	19.502

Los resultados estadísticos de (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc), donde predomina en un 60% mal graduado y el 40% bien graduado de grava. Los resultados se presentan en la tabla 31.

**Tabla 31**

*Graduación de granulometría.*

<b>Sección</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>	<b>Granulometría</b>
SC-1	2.663	1.173	Mal graduado
SC-2	4.653	1.775	Bien graduado
SC-3	8.321	1.291	Bien graduado
SC-4	5.247	1.518	Bien graduado
SC-5	6.879	2.187	Bien graduado
SC-6	3.174	1.251	Mal graduado
SC-7	6.911	1.106	Bien graduado
SC-8	2.419	0.983	Mal graduado
SC-9	2.257	0.996	Mal graduado
SC-10	9.948	1.160	Bien graduado
SC-11	2.809	1.084	Mal graduado
SC-12	1.858	1.030	Mal graduado

<b>Sección</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>	<b>Granulometría</b>
SC-13	2.420	1.181	Mal graduado
SC-14	2.507	0.876	Mal graduado
SC-15	2.631	0.658	Mal graduado
SC-16	2.631	1.520	Mal graduado
SC-17	2.983	1.087	Mal graduado
SC-18	5.978	1.823	Bien graduado
SC-19	10.62	1.682	Bien graduado
SC-20	3.91	1.274	Mal graduado

Las partículas según la escala por Udden-Wentworth la cual se basa en el diámetro de las mismas. Se determinó que el percentil de  $d_{50}$ ,  $d_{65}$ ,  $d_{75}$ , se clasifica como grava- guijarro, mientras que el percentil de  $d_{84}$ ,  $d_{90}$  están clasificados como grava. Más de un 40% de partículas se ubica entre los valores de 0.032 m a 0.064 m clasificados como grava muy gruesa, por lo tanto, se evidencia la presencia de una superficie grava arenosa. Los resultados se presentan en la tabla 31.

**Tabla 32**

*Clasificación granulométrica.*

<b>Percentil(mm)</b>	<b>Mínimo</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Clasificación</b>
$d_{50}$	0.0093	0.0301	0.0418	Grava-guijarro
$d_{65}$	0.0133	0.0335	0.0505	Grava-guijarro
$d_{75}$	0.0167	0.0416	0.0575	Grava-guijarro
$d_{84}$	0.0234	0.0540	0.0688	Grava
$d_{90}$	0.0234	0.0540	0.0688	Grava

**Medición física de la velocidad.** Los registros de las velocidades del flujo en la cuenca del río Collana, se utilizó el correntómetro para dicha labor en el periodo normal del año proporcionaron los siguientes resultados señalados en la tabla 32 arroja una velocidad  $\bar{X}$  para el periodo normal de 0.879 m/s.

**Tabla 33**

*Velocidades en periodo normal.*

<b>Periodo normal 15/11/2021</b>			
Sección	V(m/s)	Sección	V(m/s)
SC-1	0.980	SC-11	0.930
SC-2	0.990	SC-12	0.835
SC-3	0.790	SC-13	0.930
SC-4	0.840	SC-14	0.980
SC-5	0.950	SC-15	0.868
SC-6	0.968	SC-16	0.958
SC-7	0.790	SC-17	0.770
SC-8	0.850	SC-18	0.890
SC-9	0.760	SC-19	0.960
SC-10	0.930	SC-20	0.735

**Variables hidráulicas.** Los valores obtenidos en las secciones del río Collana, en el periodo normal, tomados el 15 de noviembre del 2021, los resultados y la dispersión son los siguientes:

Indica que el caudal (Q) presenta un ajuste con mayor precisión de una  $\sigma$  de valor 0.556 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.11 veces la media, la velocidad (V) presenta un ajuste con mayor precisión de una  $\sigma$  de valor 0.084 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.09 veces la media, macro rugosidad fluvial (n) presenta un ajuste con mayor precisión de una  $\sigma$  de valor 0.003 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.096 veces la media, el área (A) presenta un ajuste de una  $\sigma$  de valor 0.28 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.06 veces la media, el ancho del río (B) presenta un ajuste de una  $\sigma$  de valor 0.26 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.05 veces la media, el tirante hidráulico (y) presenta un ajuste de una  $\sigma$  de valor 0.133 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.17 veces la media, el radio hidráulico (R) presenta un ajuste de una  $\sigma$  de valor 0.103 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.14 veces la media, la pendiente (S) presenta un ajuste de una  $\sigma$  de valor 0.050 con un coeficiente de variación de desviación estándar de 0.33 veces la media.

La medida de dispersión permite ignorar el valor medio de los valores, se realizó el análisis de dispersiones, el valor de desviación estándar presenta una baja variabilidad, por lo tanto, la confiabilidad que presentan los datos es alta.

El coeficiente de variación en el análisis de variables hidráulicas presentó valores porcentuales altos, presentando una considerable variación, los valores son aceptables por no ser significativos en la dispersión de datos. Los resultados se presentan en la tabla 33.

**Tabla 34***Rango de variables hidráulicas.*

Parámetro	Periodo Normal			
	Min	Max	$\sigma$	Cv %
Q(m <sup>3</sup> /s)	4.198	5.893	0.559	11.671
V (m/s)	0.735	0.990	0.084	9.436
Macro rugosidad	0.025	0.035	0.003	9.619
A (m <sup>2</sup> )	4.140	4.980	0.280	5.996
B (m)	4.840	5.830	0.256	4.546
y (m)	0.471	0.856	0.133	17.546
R (m)	0.4171	0.855	0.103	14.039
S (m)	0.022	0.248	0.050	23.824

***Ecuaciones semiempíricas***

**Percentil granulométrico.** Dado que el suelo no es cohesivo y el diámetro efectivo fue calculado de antemano, utilizaron las fórmulas semiempíricas para calcular el coeficiente de rugosidad. Estas ecuaciones tienen en cuenta el percentil de las partículas de material que componen los canales.

Los resultados de 20 secciones, teniendo como base los registros del percentil granulométrico  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{90}$  que fueron tomados en el periodo normal, el análisis estadístico del coeficiente de rugosidad, el menor promedio es Julien con un valor de 0.023, el mayor promedio es Lane & Carlson con un valor de 0.026. La desviación estándar, sus valores están entre  $0.001 \leq$

$\sigma \leq 0.003$  y presentan una baja dispersión. El coeficiente de variación tiene los valores  $3.32 \leq \sigma \leq 9.63$ , Julien su desviación estándar es 0.033 veces la media es el Cv de menor valor, Strickler con desviación estándar de 0.096 veces la media es de mayor valor, los valores de dispersión son bajos los resultados los valores son representativos. Los resultados se presentan en la tabla 34.

**Tabla 35**

*Macro rugosidad categoría percentil granulométrico.*

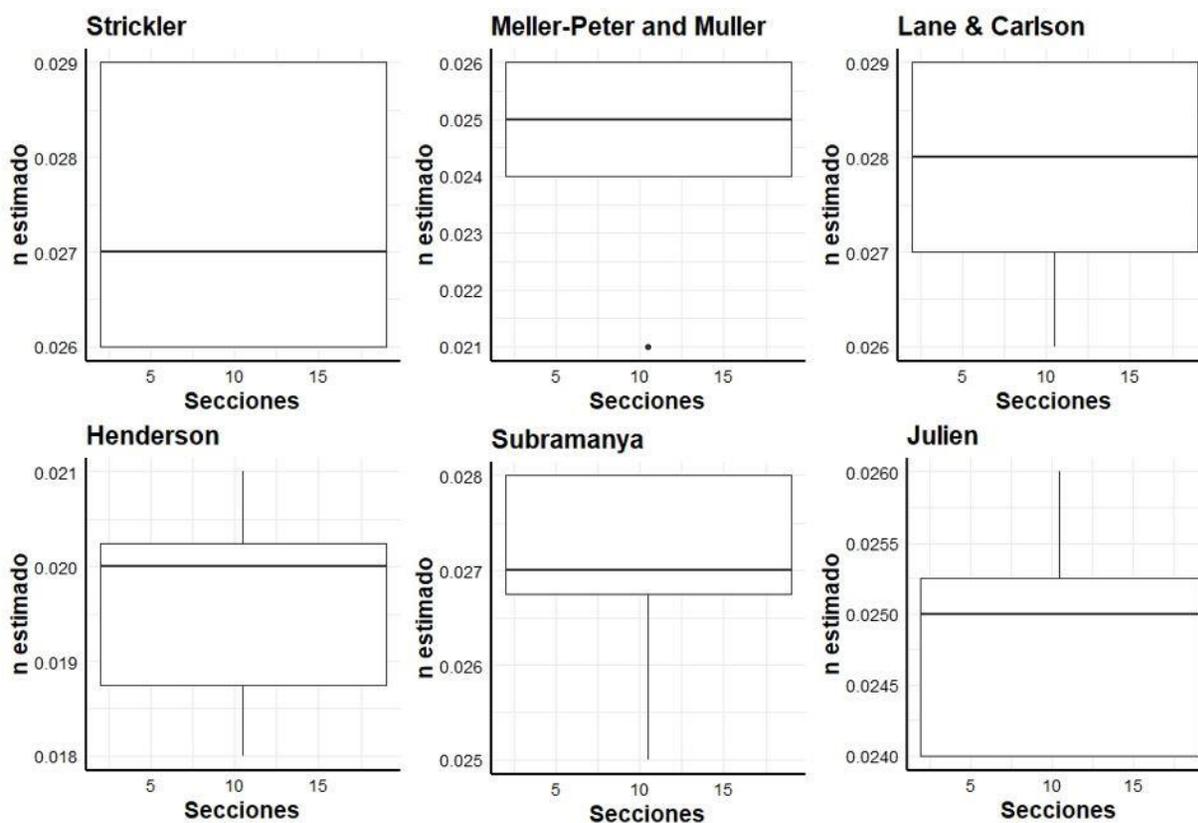
SC	Meyer-					
	Strickler	Peter and Muller	Lane & Carlson	Henderson	Subramanya	Julien
SC-1	0.027	0.025	0.027	0.021	0.027	0.025
SC-2	0.029	0.024	0.029	0.02	0.028	0.025
SC-3	0.026	0.025	0.027	0.019	0.026	0.025
SC-4	0.029	0.025	0.029	0.02	0.028	0.024
SC-5	0.027	0.024	0.026	0.019	0.026	0.026
SC-6	0.029	0.025	0.029	0.02	0.028	0.025
SC-7	0.029	0.021	0.029	0.02	0.028	0.024
SC-8	0.027	0.026	0.027	0.018	0.027	0.025
SC-9	0.029	0.026	0.028	0.02	0.028	0.024
SC-10	0.029	0.025	0.029	0.021	0.028	0.024
SC-11	0.028	0.026	0.029	0.019	0.028	0.025
SC-12	0.029	0.024	0.029	0.021	0.028	0.024
SC-13	0.027	0.026	0.028	0.019	0.027	0.026
SC-14	0.029	0.024	0.028	0.021	0.027	0.025

SC	Meyer-					
	Strickler	Peter and Muller	Lane & Carlson	Henderson	Subramanya	Julien
SC-15	0.026	0.026	0.026	0.018	0.026	0.026
SC-16	0.026	0.026	0.027	0.02	0.025	0.024
SC-17	0.027	0.024	0.028	0.021	0.027	0.024
SC-18	0.026	0.025	0.027	0.018	0.026	0.026
SC-19	0.026	0.025	0.028	0.018	0.028	0.025
SC-20	0.026	0.024	0.029	0.018	0.027	0.026
$\bar{x}$	0.028	0.025	0.028	0.02	0.027	0.025
$\sigma$	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cv%	9.63	4.72	5.08	6.11	3.41	3.32

En el análisis estadístico, Strickler presentó un valor mínimo de 0.026, el valor máximo fue de 0.029, una media de 0.0275, un primer cuartil de 0.026 y un tercer cuartil de 0.029, Meller-Peter and Muller tiene un valor mínimo de 0.021, un valor máximo de 0.026, mediana de 0.0247, un primer cuartil de 0.024 y un tercer cuartil de 0.026, Lane & Carlson tiene un valor mínimo de 0.026, un valor máximo de 0.029, una mediana de 0.0279, primer cuartil de 0.027 y tercer cuartil de 0.029, Henderson tiene un valor mínimo de 0.018, valor máximo de 0.021, una mediana de 0.019, primer cuartil de 0.018 y tercer cuartil de 0.020, Subramanya tiene valor mínimo de 0.025, valor máximo de 0.028, una mediana de 0.027, un primer cuartil de 0.026 y un tercer cuartil de 0.028, Julien tiene un valor mínimo de 0.023, valor máximo de 0.026, mediana de 0.025, primer cuartil de 0.024 y tercer cuartil de 0.025.

**Figura 26**

*Análisis estadístico categoría percentil granulométrico.*

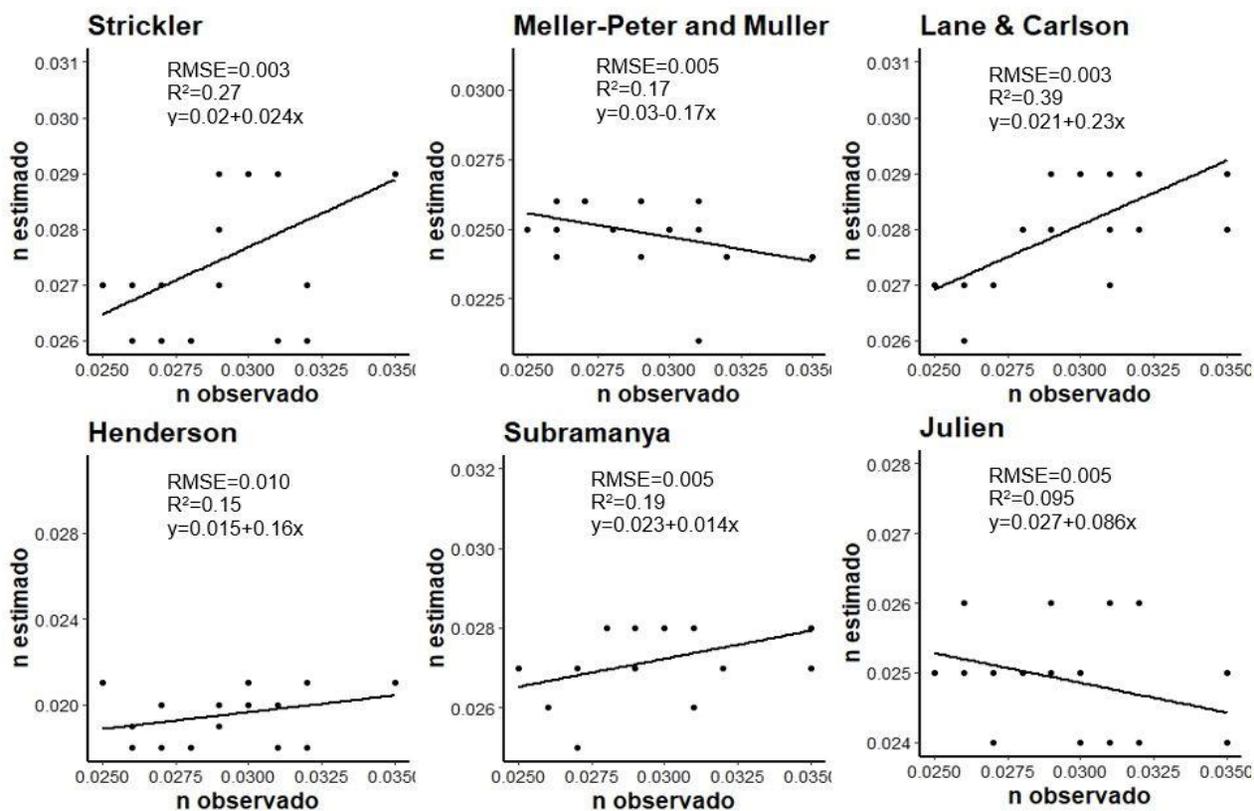


Criterios de precisión del modelo semiempíricos de percentil granulométrico, el error cuadrático medio (RMSE), los resultados se encuentran  $0.003 \leq \text{RMSE} \leq 0.010$ , Strickler y Lane & Carlson presentan los RMSE mínimos y Henderson presenta el valor máximo.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores fluctúan entre  $0.095 \leq R^2 \leq 0.39$ , Lane & Carlson es de mayor resultado de 0.39, presenta un ajuste lineal imperfecto, y correlación directa.

Figura 27

*Criterios de precisión de modelo percentil granulométrico.*



### *Sumersión relativa potencial*

El análisis estadístico del coeficiente de rugosidad, el menor promedio es Brownli, Jarret con una macro rugosidad de 0.028, el mayor promedio es Bruschin con un valor de 0.037, los resultados de desviación estándar se encuentran  $0.002 \leq \sigma \leq 0.006$ , presentando una baja dispersión, los valores de  $C_v$  se encuentran entre  $4.91 \leq C_v \leq 15.98$ , con menor valor Bray (1982), el mayor valor lo tiene la ecuación de Bruschin (1985) con una desviación estándar de 0.15 veces su media, es la ecuación que presenta mayor dispersión.

**Tabla 36***Macro rugosidad sumersión relativo potencial.*

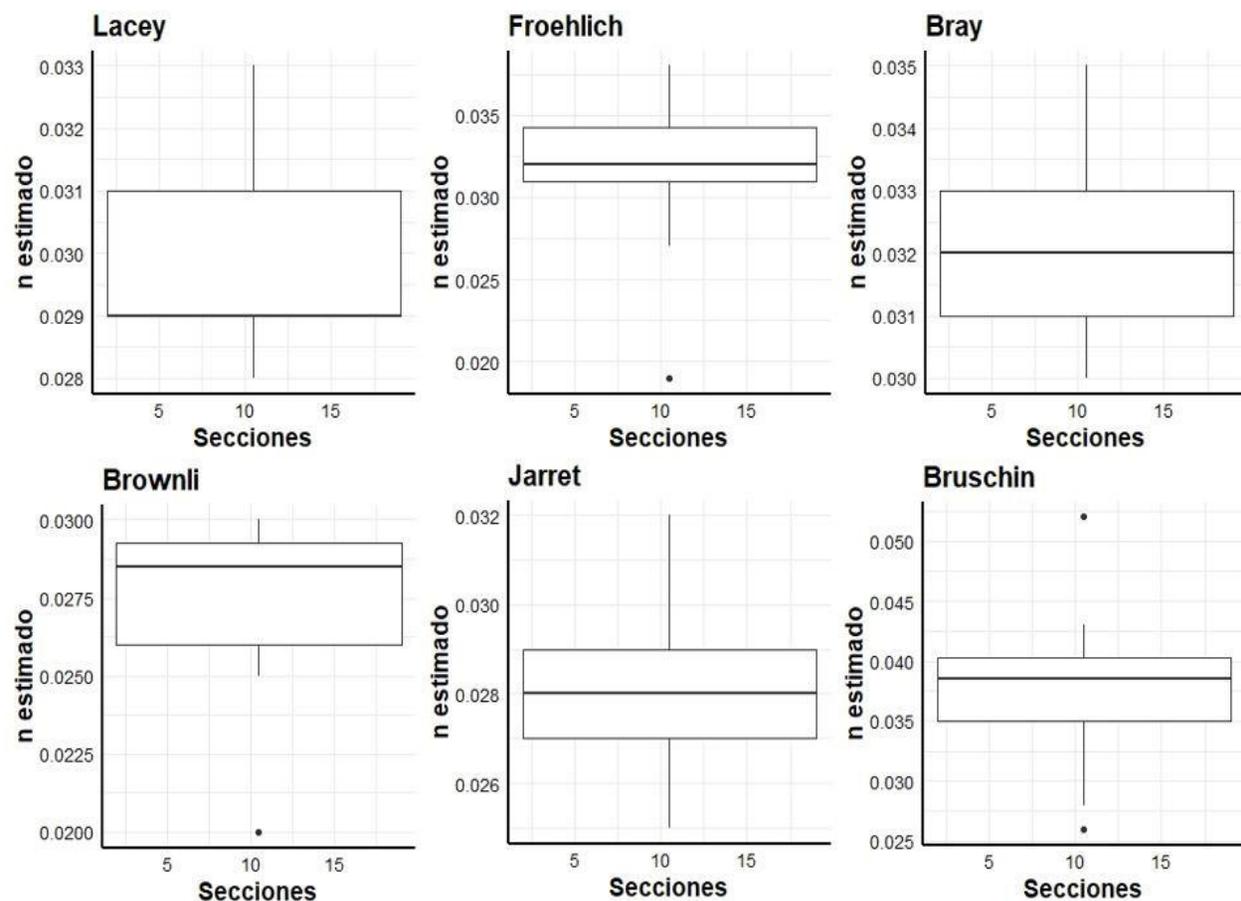
<b>Sección</b>	<b>Lacey</b>	<b>Froehlich</b>	<b>Bray</b>	<b>Brownli</b>	<b>Jarret</b>	<b>Bruschin</b>
SC-1	0.028	0.030	0.032	0.025	0.025	0.028
SC-2	0.029	0.032	0.03	0.029	0.028	0.030
SC-3	0.028	0.031	0.03	0.026	0.03	0.035
SC-4	0.029	0.033	0.03	0.029	0.029	0.031
SC-5	0.029	0.032	0.032	0.026	0.025	0.043
SC-6	0.031	0.031	0.033	0.03	0.029	0.036
SC-7	0.032	0.034	0.033	0.03	0.03	0.026
SC-8	0.029	0.036	0.031	0.027	0.027	0.041
SC-9	0.029	0.036	0.031	0.03	0.029	0.035
SC-10	0.029	0.038	0.03	0.029	0.028	0.039
SC-11	0.029	0.031	0.032	0.029	0.028	0.043
SC-12	0.028	0.032	0.035	0.03	0.025	0.043
SC-13	0.029	0.034	0.032	0.029	0.027	0.039
SC-14	0.033	0.019	0.035	0.03	0.029	0.052
SC-15	0.031	0.031	0.033	0.027	0.026	0.035
SC-16	0.033	0.036	0.034	0.028	0.027	0.037
SC-17	0.033	0.027	0.034	0.027	0.032	0.038
SC-18	0.030	0.034	0.033	0.025	0.029	0.040
SC-19	0.030	0.032	0.033	0.026	0.028	0.039
SC-20	0.031	0.035	0.032	0.026	0.029	0.039

$\bar{x}$	0.029	0.030	0.032	0.028	0.028	0.037
$\sigma$	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002	0.006
Cv%	5.61	12.48	4.91	6.46	6.55	15.98

El análisis estadístico, Lacey tiene un resultado mínimo de 0.028, un resultado máximo de 0.033, una  $\bar{x}$  de 0.030, un primer cuartil de 0.029 y tercer cuartil de 0.031, Froehlich tiene un valor mínimo de 0.019, valor máximo de 0.038, una mediana de 0.032, un primer cuartil de 0.031 y un tercer cuartil de 0.034, Bray tiene un valor mínimo de 0.030, un valor máximo de 0.035, una mediana de 0.032, un primer cuartil de 0.031 y tercer cuartil de 0.033, Brownli tiene un valor mínimo de 0.025, valor máximo de 0.030, mediana de 0.028, un primer cuartil de 0.026 y tercer cuartil de 0.029, Jarret tiene un valor mínimo de 0.025, un valor máximo de 0.032, una mediana de 0.028, primer cuartil de 0.027 y tercer cuartil de 0.029, Bruschin tiene un valor mínimo de 0.026, un valor máximo de 0.052, una mediana de 0.037, un primer cuartil de 0.035.

**Figura 28**

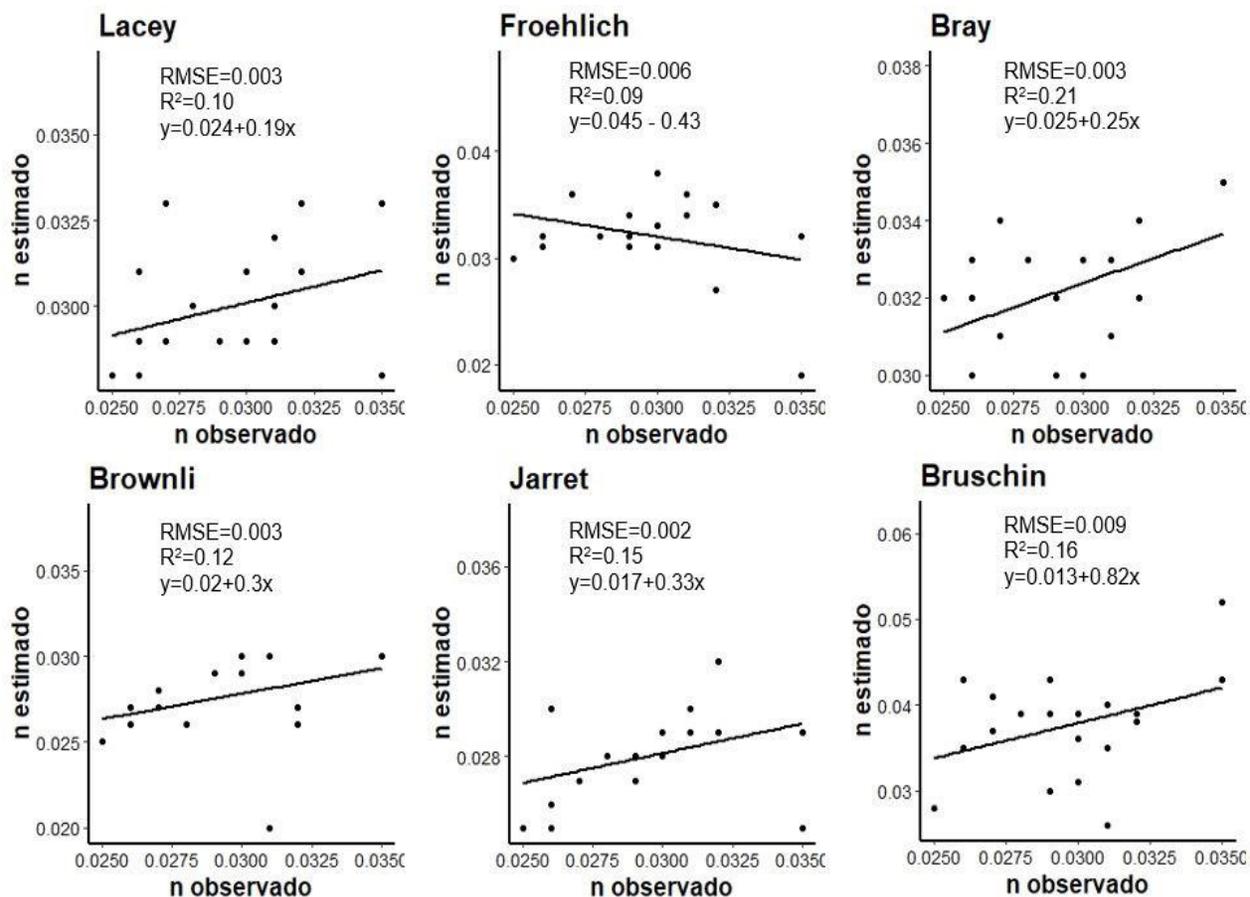
*Variación de macro rugosidad, sumersión relativo potencial.*



Criterios de precisión del modelo semiempíricos de sumersión relativo potencial, el error cuadrático medio (RMSE), sus valores se encuentran  $0.002 \leq \text{RMSE} \leq 0.009$  Jarret (1984) presenta el menor valor y Bruschin (1985) el mayor valor. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), los resultados se encuentran entre  $0.09 \leq R^2 \leq 0.21$ , Bray (1982) es el de mayor valor, es un indicador no representativo de un modelo lineal, presenta una correlación directa.

Figura 29

Análisis cualitativo.

**Sumersión relativa – logarítmica**

El análisis estadístico mostró que, el menor promedio es Bathurst (1985) y Barry (2005), con una macro rugosidad de 0.028, el mayor promedio es Limerinous (1970) y Hec-Ras (2016) con un valor de 0.032. La desviación estándar el valor se encuentra  $0.001 \leq \sigma \leq 0.005$  presentando menor Griffiths (1981), presentando mayor dispersión Hec-Ras (2016), el Cv se encuentra entre  $3.65 \leq Cv \leq 16.44$ .

**Tabla 37***Macro rugosidad sumersión relativo logarítmico.*

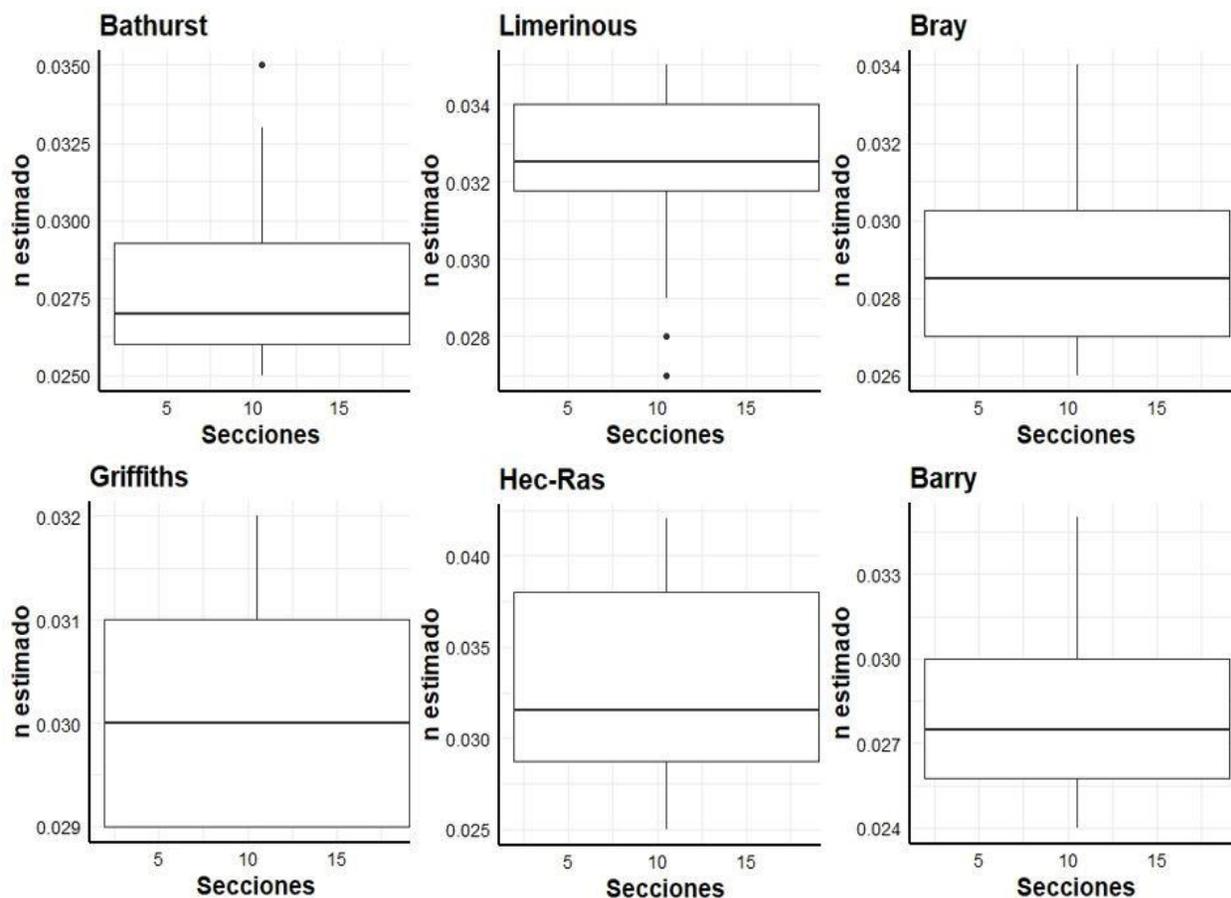
<b>Sección</b>	<b>Bathurst</b>	<b>Limerinous</b>	<b>Bray</b>	<b>Griffiths</b>	<b>Hec-Ras</b>	<b>Barry</b>
SC-1	0.030	0.030	0.028	0.030	0.029	0.025
SC-2	0.029	0.032	0.029	0.029	0.025	0.029
SC-3	0.027	0.033	0.027	0.029	0.026	0.024
SC-4	0.030	0.031	0.029	0.030	0.030	0.030
SC-5	0.026	0.027	0.028	0.029	0.038	0.028
SC-6	0.030	0.032	0.030	0.030	0.030	0.030
SC-7	0.029	0.035	0.031	0.031	0.031	0.031
SC-8	0.026	0.028	0.027	0.029	0.027	0.026
SC-9	0.027	0.035	0.031	0.030	0.041	0.031
SC-10	0.025	0.035	0.030	0.030	0.039	0.030
SC-11	0.027	0.032	0.029	0.029	0.038	0.029
SC-12	0.033	0.033	0.031	0.032	0.042	0.035
SC-13	0.027	0.029	0.028	0.032	0.029	0.027
SC-14	0.035	0.034	0.034	0.032	0.035	0.026
SC-15	0.025	0.032	0.026	0.030	0.026	0.025
SC-16	0.027	0.032	0.027	0.030	0.032	0.026
SC-17	0.028	0.033	0.031	0.032	0.032	0.026
SC-18	0.025	0.033	0.026	0.031	0.032	0.025
SC-19	0.025	0.034	0.026	0.029	0.028	0.025
SC-20	0.026	0.035	0.026	0.030	0.038	0.029

<b>Sección</b>	<b>Bathurst</b>	<b>Limerinous</b>	<b>Bray</b>	<b>Griffiths</b>	<b>Hec-Ras</b>	<b>Barry</b>
$\bar{x}$	0.028	0.032	0.029	0.030	0.032	0.028
$\sigma$	0.003	0.002	0.002	0.001	0.005	0.003
CV%	9.63	7.17	7.71	3.65	16.44	10.05

Bathurst tiene un resultado mínimo de 0.025, un resultado máximo de 0.035, una  $\bar{x}$  de 0.028, un primer cuartil de 0.026 y tercer cuartil de 0.029, Limerinous tiene un valor mínimo de 0.027, valor máximo de 0.035, mediana de 0.032, primer cuartil de 0.032 y tercer cuartil de 0.034, Bray tiene el valor mínimo de 0.026, valor máximo de 0.034, mediana de 0.029, primer cuartil de 0.026 y tercer cuartil de 0.030, Griffiths tiene un valor mínimo de 0.029, valor máximo de 0.032, una mediana de 0.032, primer cuartil de 0.029 y un tercer cuartil de 0.031, Hec-Ras tiene el valor mínimo de 0.025, valor máximo de 0.042, mediana de 0.032, un primer cuartil de 0.028 y tercer cuartil de 0.038, Barry tiene un valor mínimo de 0.024, valor máximo de 0.035, la mediana de 0.028, un primer cuartil de 0.026 y el tercer cuartil de 0.030.

**Figura 30**

*Variación de macro rugosidad sumersión relativo logarítmico*

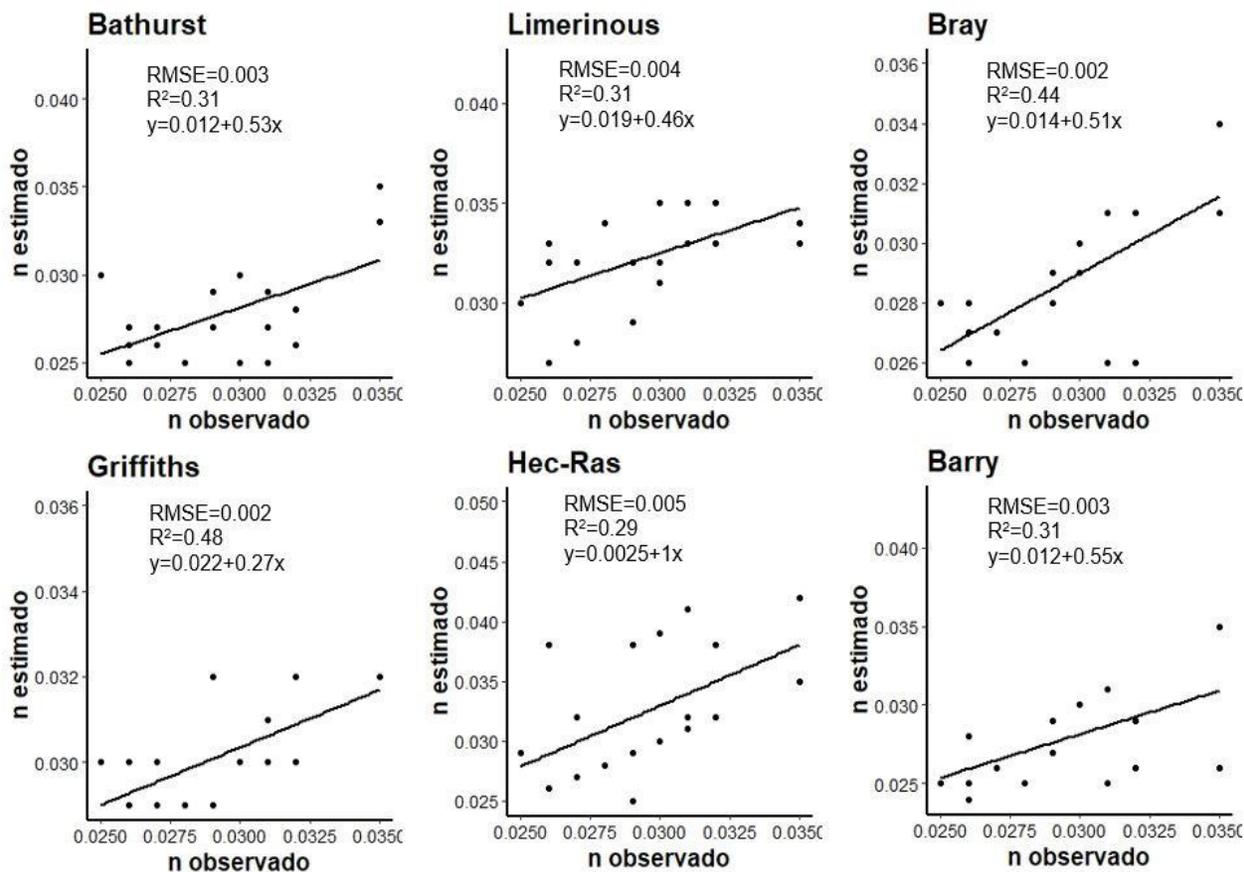


Crerios de precisión del modelo de sumersión relativo logarítmico, el error cuadrático medio (RMSE), los resultados se encuentran  $0.002 \leq \text{RMSE} \leq 0.05$ , Griffiths (1981) presentan menor valor de 0.002, el mayor valor es de Hec-Ras (2016), los valores son resultado próximo al cero. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) los resultados se encuentran entre  $0.29 \leq R^2 \leq 0.48$  con el menor valor es de Hec-Ras (2016), no es representativo de un modelo lineal, el mayor valor es de Griffiths (1981), no siendo representativo de un modelo lineal.

Las seis ecuaciones presentan un cálculo gráfico de dispersión donde todas son representaciones de correlación directa, de las seis ecuaciones el de mayor ajuste es la ecuación de Griffiths (1981).

**Figura 31**

*Análisis estadístico*



**Tabla 38***Desempeño de modelos semiempíricos.*

<b>Categoría</b>	<b>Fuentes</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	Strickler (1923)	0.003	0.002	0.07	0.272
	Meller- Peter & Muller (1948)	0.005	0.004	0.149	0.165
	Lane & Carlson (1952)	0.003	0.018	0.057	0.392
	Henderson (1966)	0.01	0.099	0.331	0.152
	Subramanya (1982)	0.005	0.003	0.091	0.053
	Julien (2002)	0.006	0.005	0.146	0.095
	Lacey (1946)	0.003	0.002	0.071	0.102
2	Froehlich (1978)	0.006	0.005	0.175	0.092
	Bray (1982)	0.004	0.003	0.102	0.205

	Brownli (1983)	0.003	0.002	0.063	0.116
	Jarret (1984)	0.003	0.002	0.058	0.148
	Bruschin (1985)	0.01	0.009	0.292	0.155
<hr/>					
	Bathurst (1985)	0.003	0.002	0.074	0.31
	Limerinous (1970)	0.004	0.003	0.109	0.31
	Bray (1979)	0.002	0.001	0.044	0.44
3	Griffiths (1981)	0.002	0.002	0.058	0.48
	Hec-Ras (2016)	0.005	0.003	0.114	0.29
	Barry (2005)	0.003	0.002	0.058	0.31
<hr/>					

Los resultados de correlación y regresión son: raíz del error cuadrático medio (RMSE), error medio absoluto (MAE), error medio porcentual absoluto (MAPE), coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Los valores de RMSE se encontraron entre  $0.003 \leq \text{RMSE} \leq 0.010$ , donde el 39% de las ecuaciones tuvieron valores iguales a 0.003, el 16% tuvo un valor de 0.005 y solo el 5.5% tuvo el valor de 0.006. Los valores están próximos al cero, error bajo.

Error medio absoluto (MAE), se encuentra dentro del rango  $0.002 \leq \text{MAE} \leq 0.099$ , el 39% corresponde a los valores mínimos, solo el 6% corresponden al valor máximo, los valores se encuentran próximos al cero, presentan un grado de error bajo.

Error medio porcentual absoluto (MAPE), se encuentra dentro de los valores de  $0.044 \leq \text{MAPE} \leq 0.331$ , donde el 56% son valores menores a 0.1.

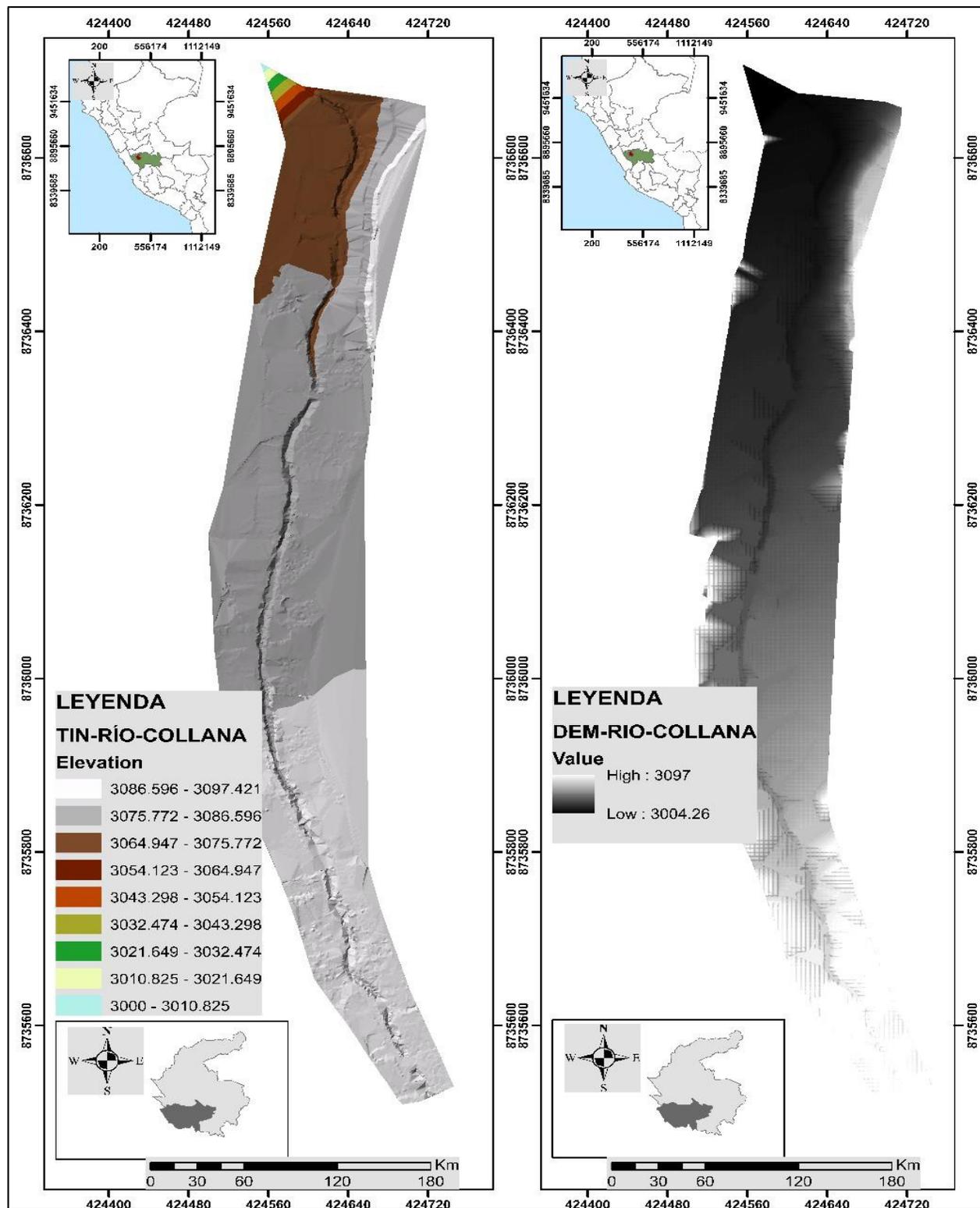
Coefficiente de determinación ( $R^2$ ), de las dieciocho ecuaciones semiempíricas del coeficiente de rugosidad, los que presentan mayor  $R^2$  son, Griffiths (1981) con un valor de 0.48, seguido por Bray (1979) con 0.44, Lane & Carlson con 0.39, su bondad de ajuste está lejos de ser un modelo lineal. En cuanto a la ecuación para estimar el coeficiente de Manning del río Collana, los resultados son muy imprecisos y no se recomiendan para estimar la macro rugosidad fluvial. Las distintas ecuaciones propuestas por los autores fueron apropiadas en ese momento y en los lugares para los que fueron evaluadas.

### ***Modelo numérico***

**Modelación unidimensional.** Con el programa informático de procesamiento geo espacial ArcMap, se carga las curvas de nivel con un intervalo de 0.5m para crear TIN (Triangulated Irregular Network) para tener datos de la superficie para luego con TIN to Raster transformar el TIN en un DEM en un formato raster para la modelización en HEC-RAS formato que el programa puede leer en Ras Mapper, utilizados en el modelamiento unidimensional y bidimensional tanto en homogéneo como mixto.

**Figura 32**

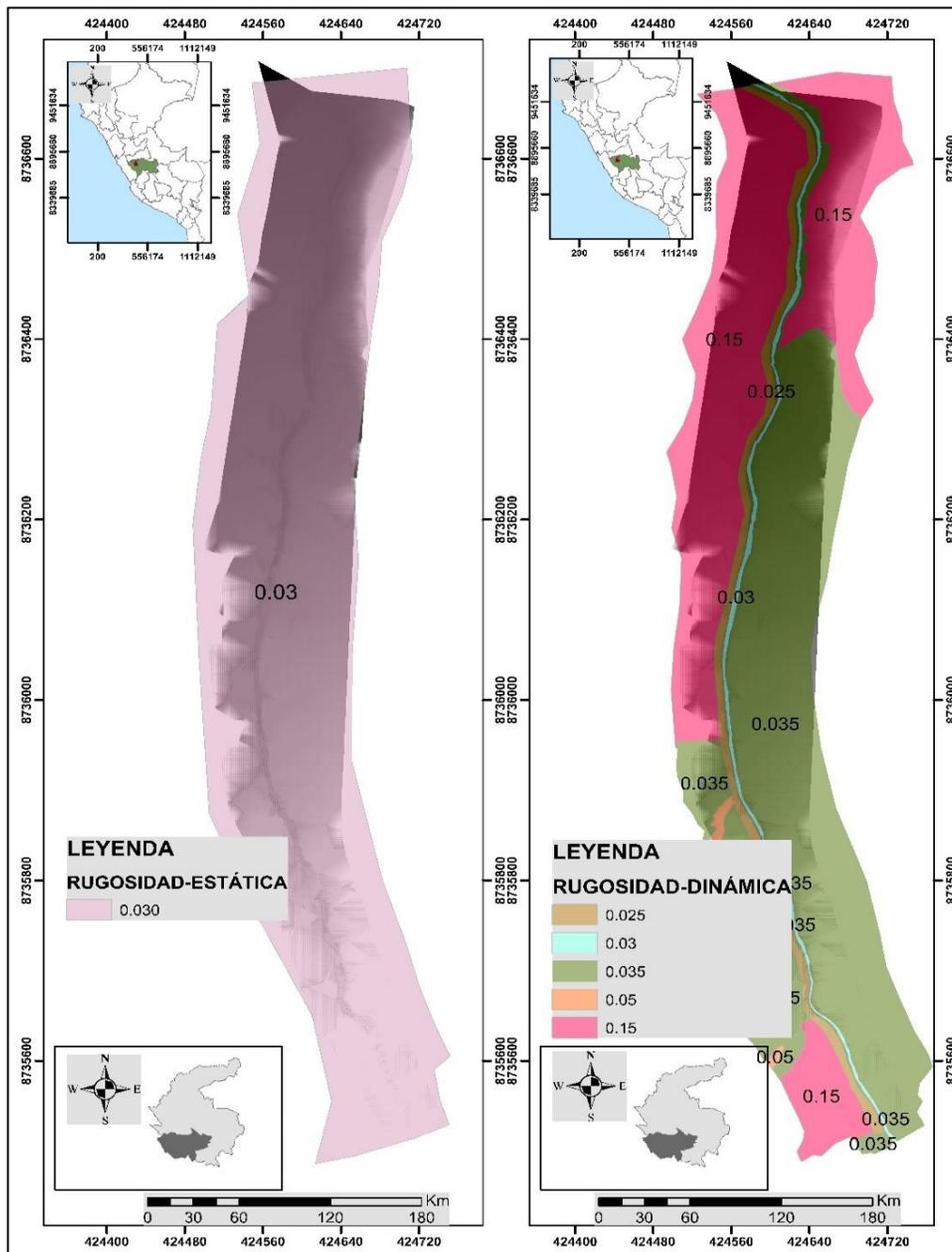
*Formato TIN convertir a un formato DEM.*



Se muestra el desglose de las coberturas de rugosidad y resistencia al flujo de la zona de estudio utilizadas en los modelos estática y dinámica (desarrollado por coberturas del coeficiente de rugosidad) en un formato shapefile, ejecutado en los modelos unidimensional y bidimensional.

**Figura 33**

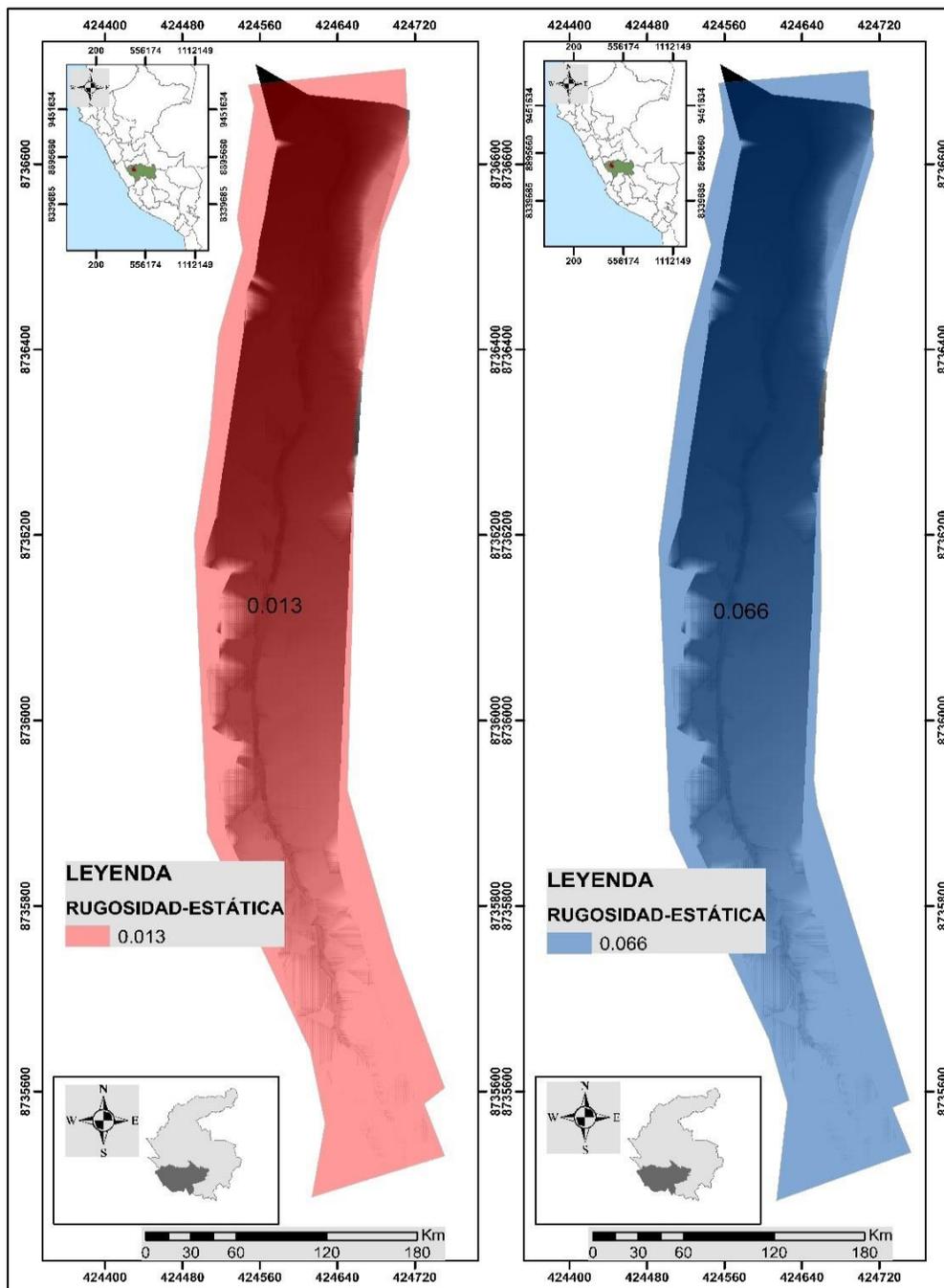
*Cobertura de suelos de rugosidad estática  $n = 0.030$  y dinámica*



Texturas de suelo, con rugosidad de  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$  en formato shapefile, lo cual se utilizó en HEC-RAS, cumplió la función de ser empleado en el dimensionamiento unidimensional, con lo cual se obtuvo el tirante crítico con los distintos valores de rugosidad.

**Figura 34**

*Cobertura de suelo, modelo estática  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$*



Los datos recopilados y procesados se ingresan en HEC RAS tal como se muestra la figura 50 donde se observa el DEM de la zona de estudio, que se dividió en secciones de diez metros de separación desde el punto 0+010 punto de inicio aguas abajo hasta la sección 1+110, tramo perteneciente al cauce del río Collana, la zona en estudio. El desarrollo del análisis, comenzó con  $n=0,030$ , correspondiente al promedio del periodo normal, luego se utilizó  $n$ =mixto en periodo normal, se analizó la rugosidad con el promedio de periodo seco de la zona en estudio, de  $n=0.066$ , también se desarrolló modelo húmedo con un valor promedio de  $n=0.013$ , se tomó valores de rugosidad de tablas para crear un Land Cover del modelo mixto de cada zona con su respectiva rugosidad, se utilizaron los datos de caudales obtenidos por HEC-HMS, modelo de discretización de SCS. Todo el sistema es sensible a los cambios de rugosidad. Por lo tanto, durante el proceso de evaluación, se debe ajustar este parámetro en la sección de modelado para que los resultados calculados por el programa coincidan con los valores medidos en el lugar de estudio.

**Tabla 39**

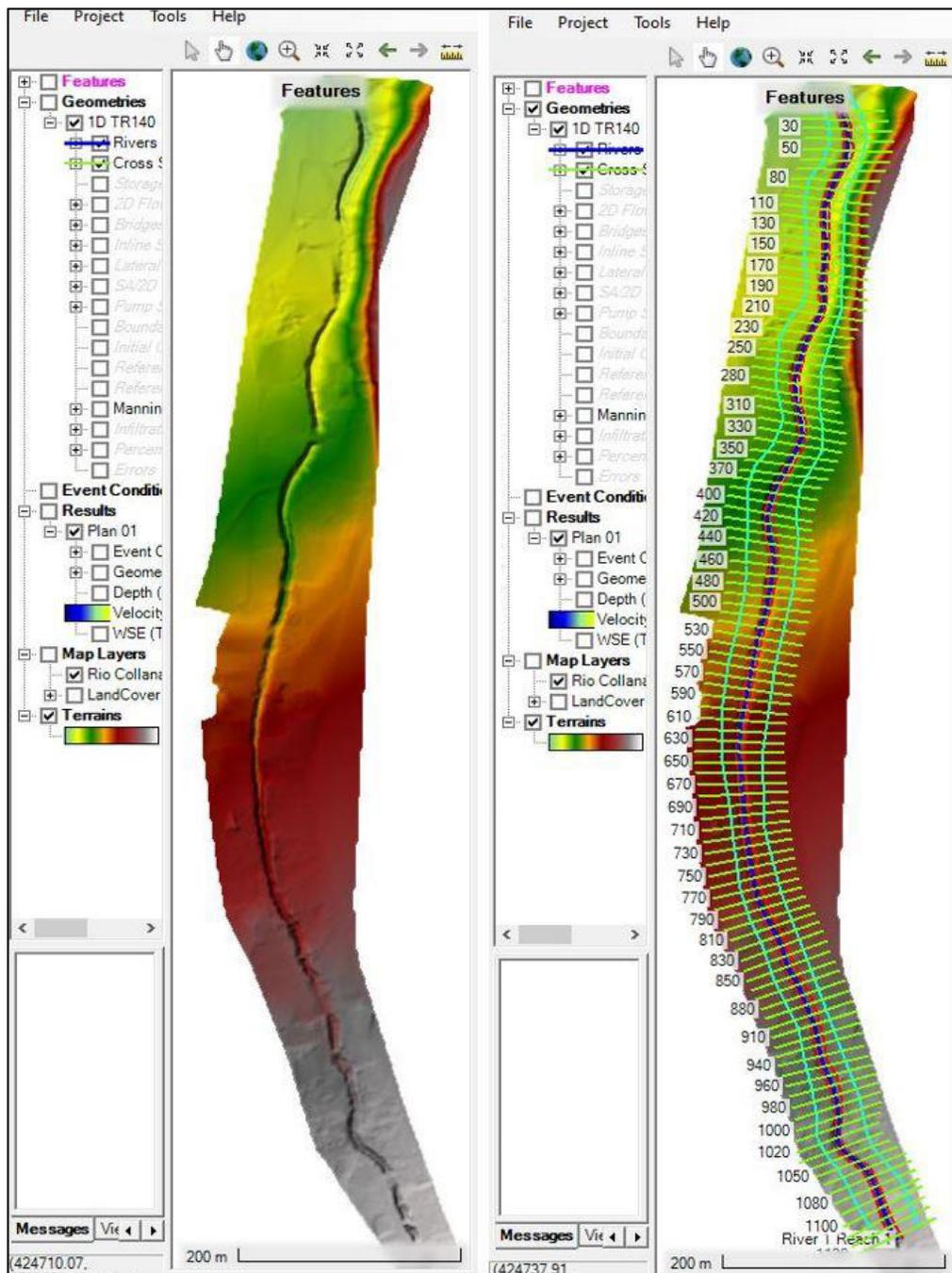
*Valores máximos de caudales en el río Collana*

<b>Tr (años)</b>	<b>Q<sub>máx.</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
2	2.4
10	2.8
25	3
50	3.3
100	3.6
140	3.8
200	4.2

Para la evaluación y comprobar del modelo, se seleccionaron los datos de caudal tomados el 15 de noviembre de 2021, con los datos proporcionados de registro de caudales por el ANA (Autoridad Nacional del Agua).

**Figura 35**

*Geometría del modelo base, secciones transversales.*



Los resultados del modelo homogéneo  $n = 0.030$  y el modelo mixto en un  $Tr$  de dos años, con un caudal de  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$  donde los resultados de los modelos homogéneos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ , en relación de las áreas ( $A$ ) de  $n = 0.030 > n = \text{mixto}$ , un incremento de  $2.22\%$ , el radio hidráulico ( $R$ ) de  $n = 0.030 > n = \text{mixto}$  un incremento de  $1.28\%$ .

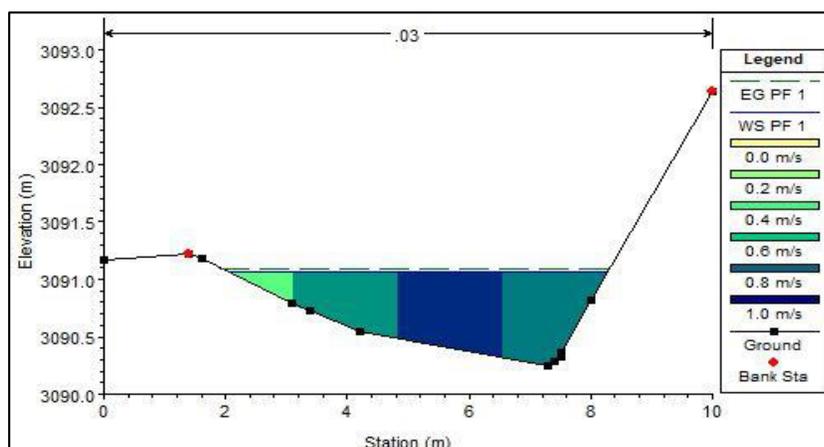
**Tabla 40**

Valores hidráulicos  $n = 0.030$ ,  $n = \text{mixto}$   $Tr = 2$  años

Tiempo de retorno de 2 años								
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	2.4	2.4	2.4	0.0	2.4	2.4	2.4	0.0
A ( $\text{m}^2$ )	0.59	1.793	3.46	0.862	0.54	1.754	3.39	0.784
R (m)	0.194	0.388	0.609	0.119	0.203	0.383	0.607	0.118
y (m)	0.38	0.691	1.23	0.274	0.345	0.504	0.84	0.151
v (m/s)	0.440	1.728	4.470	0.945	0.450	1.849	4.860	1.076
NF	0.150	0.942	3.180	0.691	0.160	1.015	3.050	0.745
n	0.028	0.030	0.030	0.001	0.025	0.029	0.035	0.004

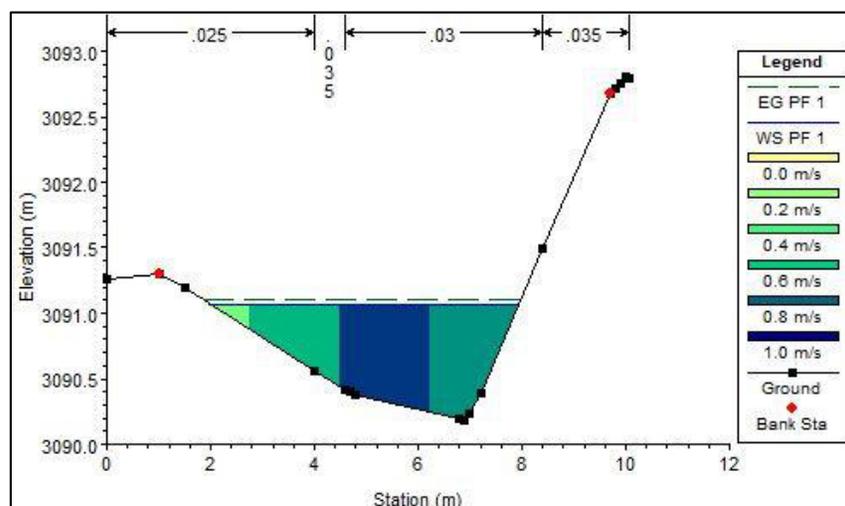
**Figura 36**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 2$  años



**Figura 37**

Perfil de flujo modelo mixto  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 2$  años.



Se analizó el  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$  en donde el área (A) de  $n = 0.013 < n = 0.066$ , en 74%, el radio hidráulico (R) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en un 67%, el modelo homogéneo  $n = 0.013$  la clasificación NF = supercrítico y en el modelo homogéneo  $n = 0.066$  el NF = crítico.

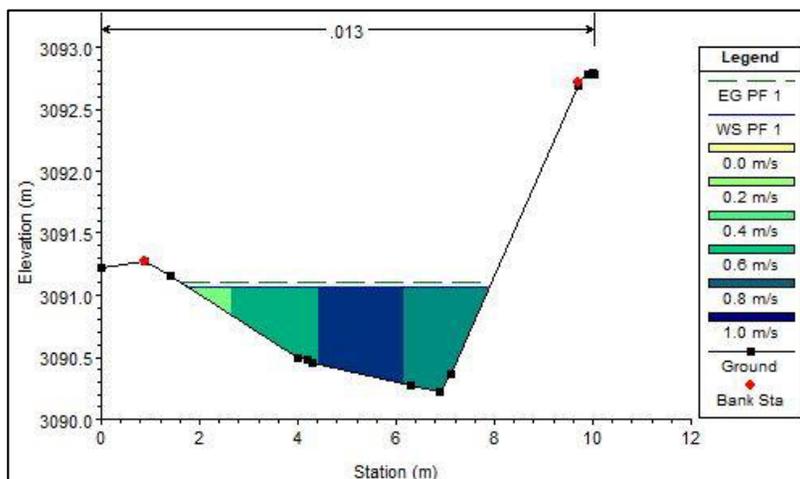
**Tabla 41**

Valores hidráulicos  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$   $Tr = 2$  años.

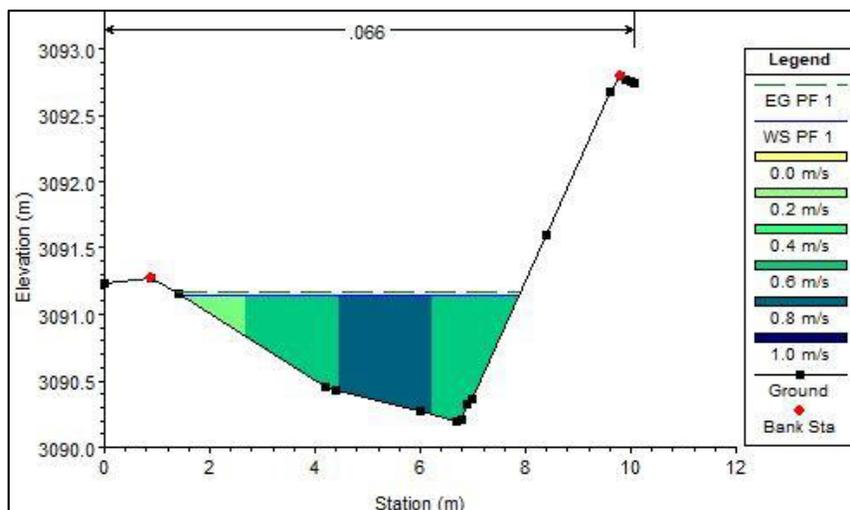
	Tiempo de retorno de 2 años							
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	2.4	2.4	2.4	0	2.4	2.4	2.4	0
A (m <sup>2</sup> )	0.530	1.239	3.220	0.917	0.730	2.167	3.720	0.825
R (m)	0.165	0.296	0.586	0.134	0.322	0.494	1.084	0.171
y (m)	0.257	0.392	0.840	0.114	0.055	0.696	1.280	0.393
v (m/s)	0.420	2.854	4.550	1.414	0.410	1.218	3.450	0.640
NF	0.140	1.872	3.470	1.097	0.130	0.609	2.010	0.404
n	0.012	0.013	0.013	0.000	0.060	0.065	0.066	0.002

**Figura 38**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 2$  años.*

**Figura 39**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 2$  años.*



El modelo homogéneo  $n = 0.030$  en comparación del modelo mixto con un tiempo de retorno ( $Tr$ ) de diez años, un caudal de  $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$  donde el área,  $n = 0.030$  es mayor al modelo mixto en 13.14%, el radio hidráulico de  $n=0.030$  es mayor al  $n=$  mixto en 2.48% el número de Froude (NF) de  $n = 0.030$  se encuentra en el orden de subcrítico, el número de Froude (NF) de

$n$ =mixto está clasificado en el orden de supercrítico, el coeficiente de rugosidad varía se incrementa en un 3.33%; dichos resultados se observan en la tabla 41.

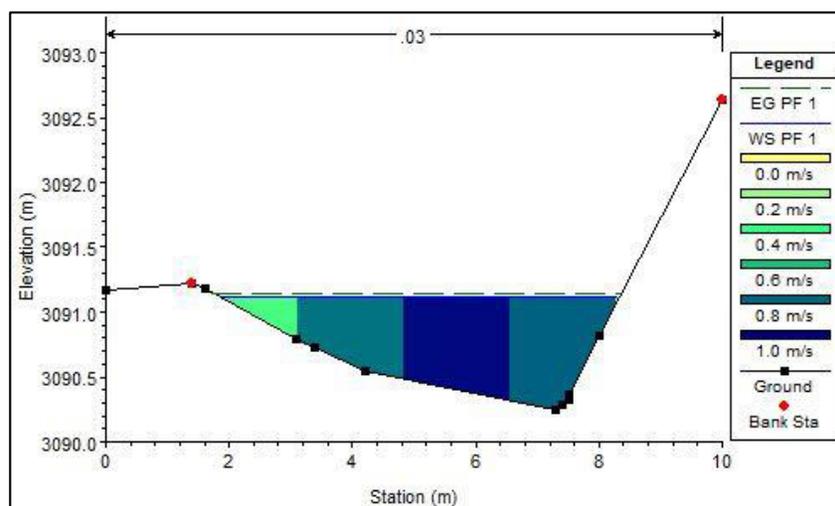
**Tabla 42**

Valores hidráulicos  $n = 0.030$ ,  $n = \text{mixto}$   $Tr = 10$  años.

Tiempo de retorno de 10 años								
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	2.8	2.8	2.8	0.0	2.8	2.8	2.8	0.0
A (m <sup>2</sup> )	0.62	1.945	3.88	1.195	0.58	1.719	3.68	1.205
R (m)	0.215	0.454	0.813	0.153	0.224	0.443	0.848	0.154
y (m)	0.41	0.712	1.26	0.263	0.41	0.64	1.23	0.255
v (m/s)	0.48	1.809	4.49	0.955	0.5	1.916	4.84	1.077
NF	0.170	0.948	3.020	0.662	0.170	1.038	2.890	0.698
n	0.028	0.030	0.030	0.001	0.029	0.029	0.051	0.005

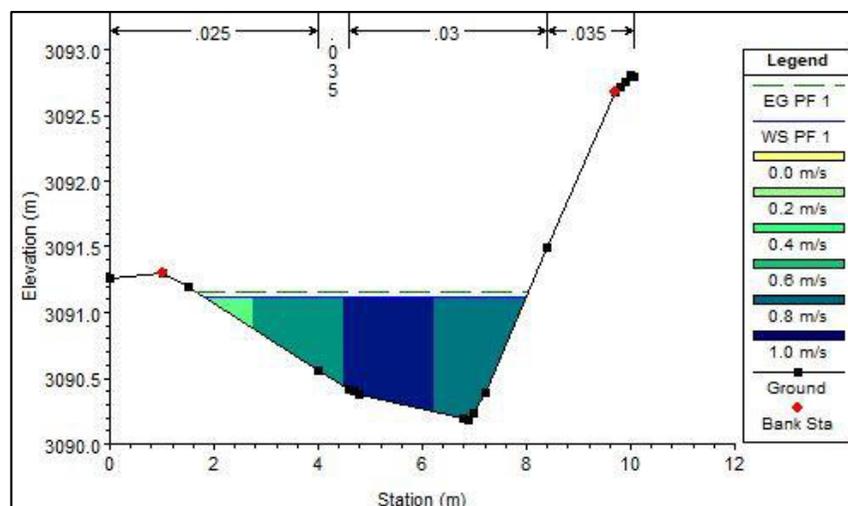
**Figura 40**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 10$  años.



**Figura 41**

Perfil de flujo modelo mixto  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 10$  años.



Los resultados de los modelos homogéneo  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ , tiempo de retorno ( $Tr$ ) de 10 años en donde los parámetros hidráulicos de  $n = 0.013$  son menores en comparación a los parámetros hidráulicos de  $n = 0.066$ , excepto en la velocidad donde el valor de  $n = 0.013 > n = 0.066$  en un 124% el número de Froude (NF) en ambos casos se clasifica como supercrítico.

**Tabla 43**

Valores hidráulicos  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$   $Tr = 10$  años.

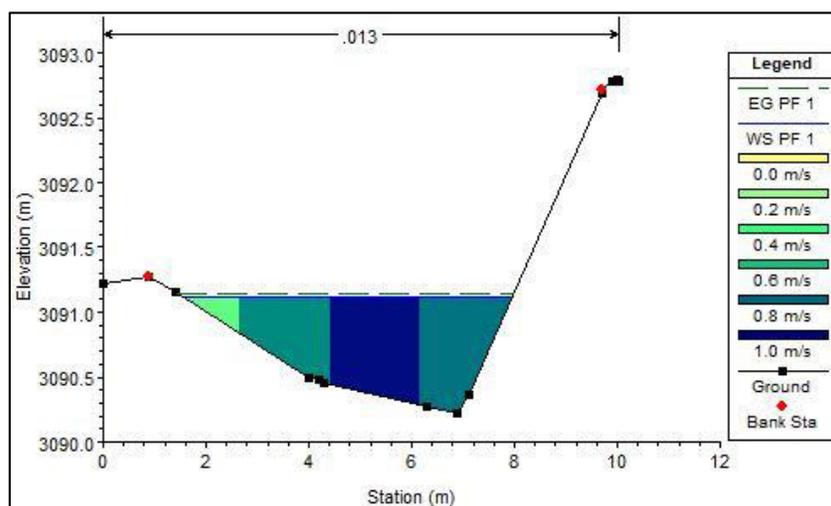
Tiempo de retorno de 10 años								
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	2.8	2.8	2.8	0	2.8	2.8	2.8	0
A (m <sup>2</sup> )	0.53	1.259	3.43	0.96	0.84	2.471	4.26	0.832
R (m)	0.18	0.333	1	0.194	0.339	0.528	1.145	0.178
y (m)	0.257	0.392	0.83	0.122	0.438	0.823	1.35	0.27

Tiempo de retorno de 10 años								
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
v (m/s)	0.42	2.854	4.55	1.414	0.45	1.27	3.52	0.64
NF	0.14	1.872	3.47	1.097	0.14	0.609	1.95	0.389
n	0.012	0.013	0.013	0	0.06	0.065	0.066	0.002

Los modelos homogéneo  $n = 0.030$  y  $n =$  mixto en un periodo de retorno de veinticinco años, con un caudal de  $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$  donde el área, de  $n = 0.030 > n =$  mixto, mayor en comparación del modelo mixto en 1.2%, el radio hidráulico de  $n = 0.030 > n =$  mixto en 2.1%, el número de Froude (NF) promedio es de 0.947 de rango subcrítico del modelo homogéneo  $n = 0.030$ , en el modelo mixto su valor promedio es 1.00 es un régimen crítico. Los resultados se muestran en la tabla 43.

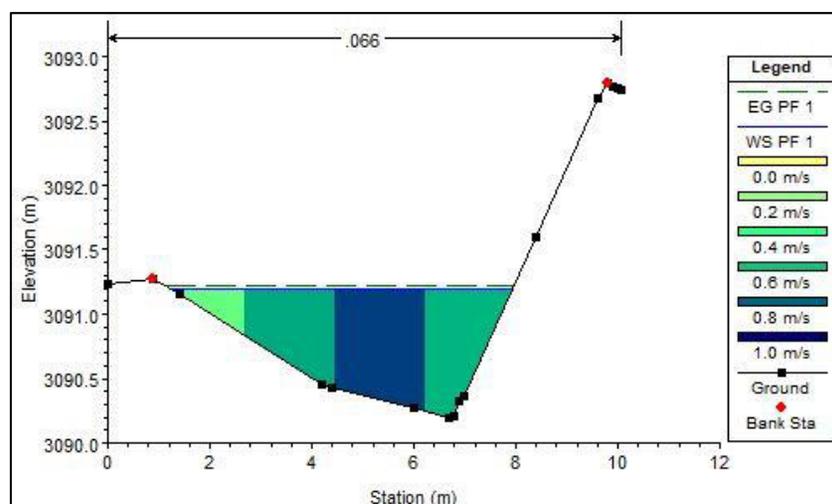
### Figura 42

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 10$  años.*



**Figura 43**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 10$  años.

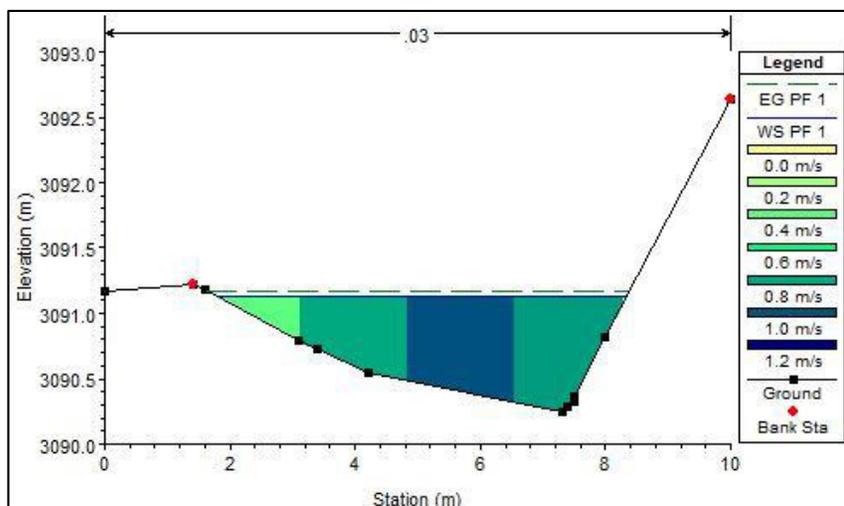
**Tabla 44**

Valores hidráulicos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 25$  años.

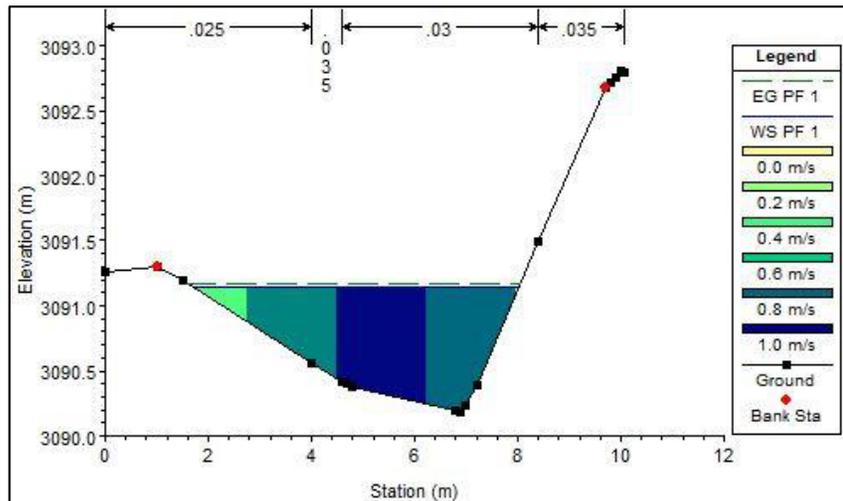
	Tiempo de retorno de 25 años							
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	3.0	3.0	3.0	0.0	3.0	3.0	3.0	0.0
A (m <sup>2</sup> )	0.620	2.064	4.205	0.983	0.670	2.039	4.130	0.946
R (m)	0.227	0.447	0.828	0.155	0.237	0.438	0.863	0.156
y (m)	0.440	0.771	1.030	0.212	0.420	0.736	1.260	0.249
v (m/s)	0.670	1.834	6.030	1.224	0.520	1.946	4.840	1.079
NF	0.170	0.947	2.950	0.650	0.180	1.007	2.840	0.702
n	0.028	0.030	0.030	0.001	0.029	0.032	0.052	0.005

**Figura 44**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 25$  años.*

**Figura 45**

*Perfil de flujo modelo  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 25$  años.*



Los resultados de los modelos homogéneos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ , donde el área (A) de  $n = 0.066 > n = 0.013$ , en 81.12%, el radio hidráulico (R) de  $n = 0.066 > n = 0.013$  en 56.3%, el NF promedio de  $n=0.013$  clasifica como supercrítico y el NF  $n = 0.066$  es supercrítico.

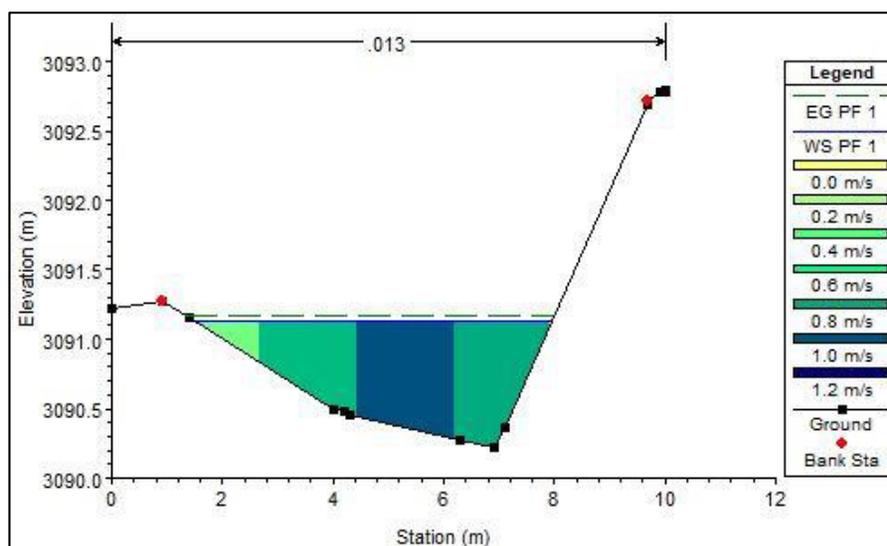
**Tabla 45**

Valores hidráulicos  $n=0.013$ ,  $n = 0.066$   $Tr = 25$  años.

Tiempo de retorno de 25 años								
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	3	3	3	0	3	3	3	0
A (m <sup>2</sup> )	0.65	1.437	3.94	1.06	0.9	2.59	4.52	0.869
R (m)	0.189	0.348	0.906	0.189	0.347	0.544	1.172	0.182
y (m)	0.39	0.677	0.9	0.232	0.438	0.843	1.38	0.278
v (m/s)	0.49	3.034	4.63	1.453	0.47	1.292	3.51	0.633
NF	0.16	1.87	3.18	1.056	0.15	0.61	1.89	0.377
n	0.012	0.013	0.013	0	0.06	0.065	0.066	0.002

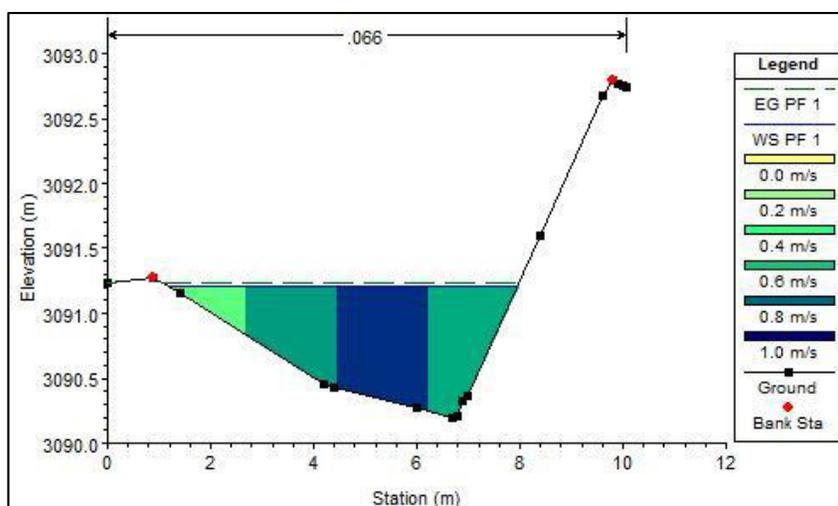
**Figura 46**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 25$  años.



**Figura 47**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 25$  años.



El modelado homogéneo  $n = 0.030$  y mixto en un  $Tr$  de cincuenta años, un caudal de  $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , donde el área ( $A$ ) de  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en un  $0.5\%$ , el radio hidráulico ( $R$ ) de  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en  $2.3\%$ , el número de Froude ( $NF$ ) del modelo  $n = 0.030$  está en el orden de subcrítico, del modelo mixto el número de Froude ( $NF$ ) está en el orden de crítico, el coeficiente de rugosidad del modelo  $n=0.030$  es mayor al modelo mixto en  $3\%$ .

**Tabla 46**

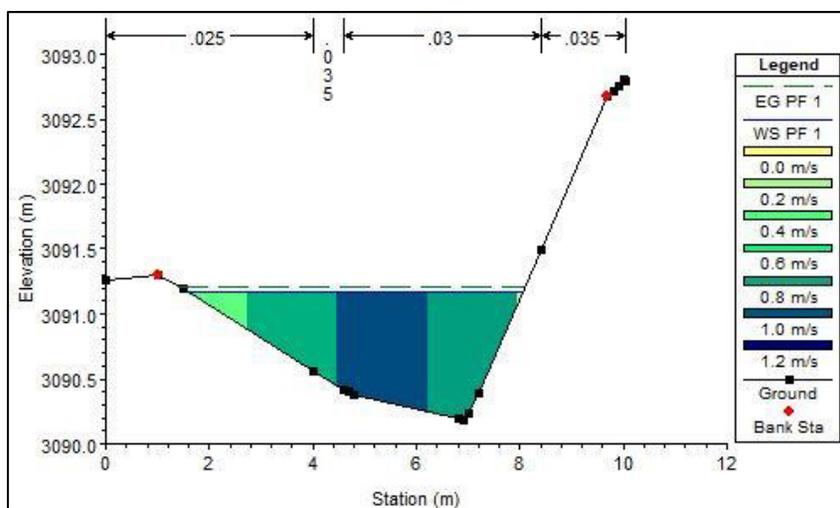
Valores hidráulicos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 50$  años.

	Tiempo de retorno de 50 años							
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	3.3	3.3	3.3	0.0	3.3	3.3	3.3	0.0
A ( $\text{m}^2$ )	0.72	2.198	4.69	1.034	0.68	2.187	4.79	1.025
R (m)	0.238	0.445	0.704	0.13	0.252	0.435	0.681	0.124
y (m)	0.47	0.782	1.32	0.273	0.44	0.766	1.3	0.252
v (m/s)	0.54	1.894	4.55	0.966	0.55	1.994	4.86	1.084

NF	0.180	0.948	2.890	0.637	0.190	1.008	2.780	0.686
n	0.028	0.030	0.030	0.001	0.027	0.029	0.053	0.005

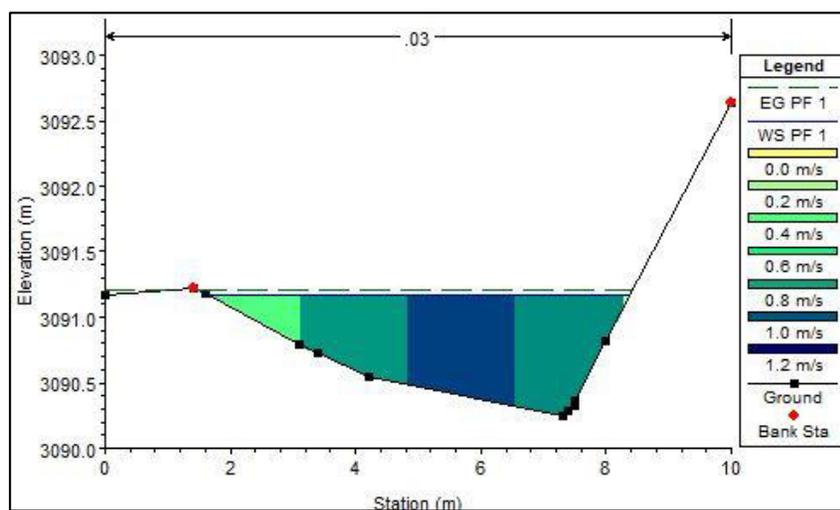
**Figura 48**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 50$  años.*



**Figura 49**

*Perfil de flujo modelo  $n =$  mixto,  $Tr = 50$  años.*



Los resultados en un  $Tr$  de cincuenta años, el área (A) de los modelos homogéneos  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 81%, el radio hidráulico (R) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 50%, el número de

Froude (NF) de  $n = 0.013$  es supercrítico, el número de Froude (NF) de  $n = 0.066$  está en el rango de subcrítico.

**Tabla 47**

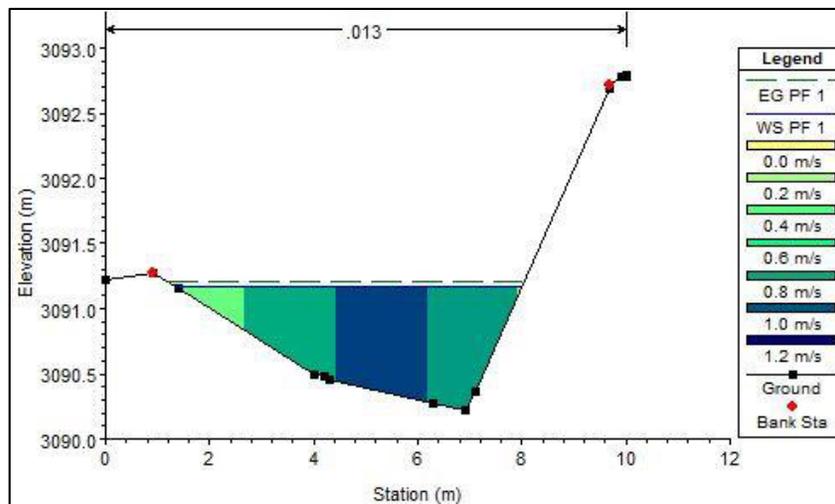
Valores hidráulicos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ ,  $Tr = 50$  años.

	Tiempo de retorno de 50 años							
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	3.3	3.3	3.3	0.0	3.3	3.3	3.3	0.0
A (m <sup>2</sup> )	0.700	1.546	4.550	1.165	0.900	2.807	5.310	0.971
R (m)	0.199	0.361	0.926	0.192	0.355	0.545	0.810	0.113
y (m)	0.410	0.713	1.370	0.247	0.438	0.868	1.430	0.294
v (m/s)	0.520	3.116	4.720	1.473	0.500	1.343	3.870	0.693
NF	0.170	1.868	3.100	1.041	0.150	0.615	2.090	0.405
n	0.012	0.013	0.013	0.000	0.059	0.065	0.066	0.002

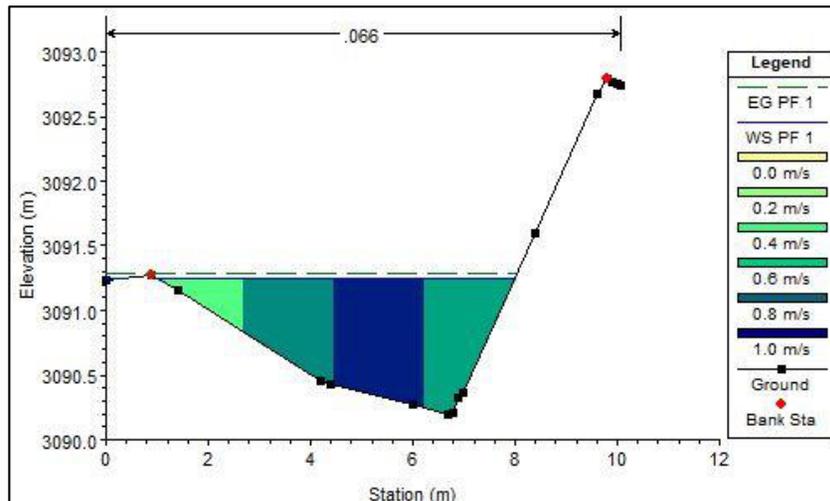
Los resultados del modelo homogéneo  $n = 0.030$  y el modelo  $n =$  mixto el área (A) de  $n = 0.030$  es mayor a  $n =$  mixto en un 1.22%, el radio hidráulico (R) de  $n = 0.030$  es mayor a  $n =$  mixto en 5% el número de Froude (NF) del modelo homogéneo  $n = 0.030$  se encuentra en la categoría de subcrítico, el número de Froude (NF) modelo  $n =$  mixto se encuentra en la categoría de crítico. Modelo homogéneo  $n = 0.030$  en la figura se observó que comienza el proceso de desborde del río en el lugar de estudio, en el modelo mixto su gráfica no presenta el cauce del río desborde y su orilla no presenta inundación; dichos resultados se observan en la tabla 47.

**Figura 50**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 50$  años.*

**Figura 51**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 50$  años.*



**Tabla 48**

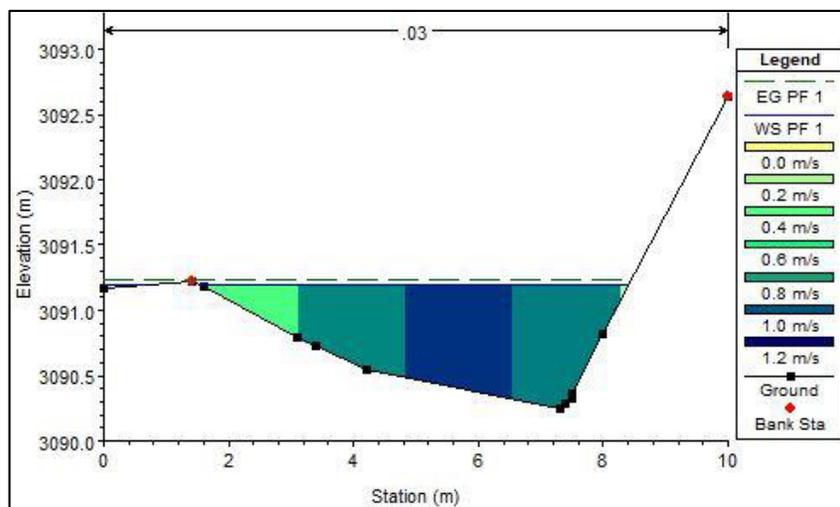
Valores hidráulicos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 100$  años.

Tiempo de retorno de 100 años								
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q(m <sup>3</sup> /s)	3.6	3.6	3.6	0.0	3.6	3.6	3.6	0.0
A (m <sup>2</sup> )	0.750	2.314	6.390	0.960	0.790	2.286	5.59	0.937
R (m)	0.254	0.479	0.731	0.133	0.267	0.453	0.729	0.130
y (m)	0.490	0.825	1.360	0.287	0.460	0.796	1.340	0.257
v (m/s)	0.570	1.940	4.540	0.969	0.580	2.035	4.830	1.082
NF	0.190	0.947	2.790	0.620	0.190	1.005	2.690	0.669
n	0.026	0.030	0.030	0.001	0.023	0.032	0.054	0.006

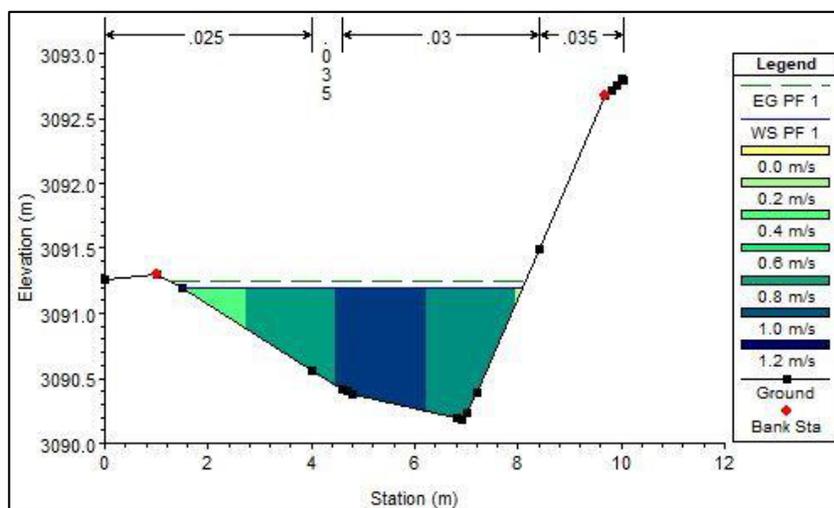
El modelo de Tr de cien años donde  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 112.6 %, el radio hidráulico de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 81.34%, el número de Froude (NF) de  $n = 0.013$  es supercrítico, el número de Froude (NF) de  $n = 0.066$  es supercrítico, la figura de  $n = 0.066$  presenta inundación en la zona y la figura de  $n = 0.013$  no presenta inundación, dichos resultados se observan en la tabla 48.

**Figura 52**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 100$  años*

**Figura 53**

*Perfil de flujo modelo  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 100$  años*



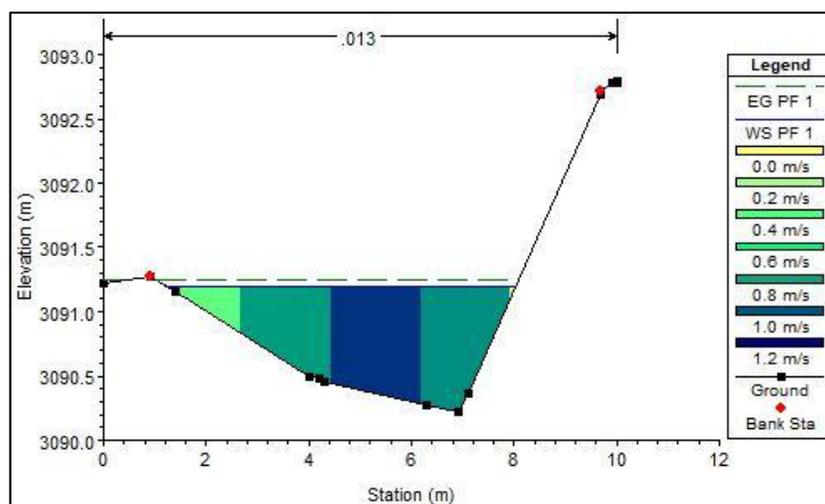
**Tabla 49**

Valores hidráulicos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ ,  $Tr = 100$  años

Tiempo de retorno de 100 años								
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	3.6	3.6	3.6	0	3.6	3.6	3.6	0
A (m <sup>2</sup> )	0.75	1.484	4.81	1.105	0.99	3.155	7.28	1.276
R (m)	0.212	0.327	0.617	0.113	0.367	0.593	1.253	0.19
y (m)	0.42	0.727	1.4	0.234	0.438	0.912	1.47	0.29
v (m/s)	0.55	3.314	4.79	1.443	0.53	1.372	3.85	0.68
NF	0.18	1.939	3.1	0.983	0.09	0.526	2.01	0.279
n	0.012	0.013	0.013	0	0.059	0.065	0.066	0.002

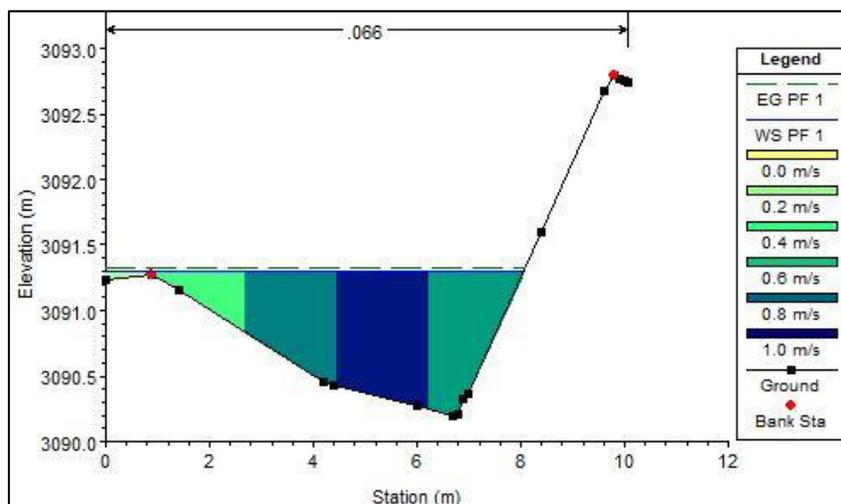
**Figura 54**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 100$  años.



**Figura 55**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 100$  años.



El  $Tr$  de ciento cuarenta años, un caudal de  $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , del modelo homogéneo  $n=0.030$  y modelo mixto  $n = \text{mixto}$  el área ( $A$ ) de  $n = 0.03$  es mayor a  $n=\text{mixto}$  la velocidad de modelo  $n = 0.03$  es  $1.991 \text{ m/s}$  es menor al modelo mixto con una velocidad de  $2.114 \text{ m/s}$ . El área ( $A$ ) de  $n=0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en  $1.74\%$ , el radio hidráulico ( $R$ ) de  $n = 0.030 > n = \text{mixto}$  en  $1.8\%$ , el  $NF$  del modelo  $n = 0.030$  es de régimen subcrítico y el modelo  $n = \text{mixto}$  el número de Froude es de régimen crítico.

**Tabla 50**

Valores hidráulicos  $n = 0.030$ ,  $n = \text{mixto}$  y  $Tr = 140$  años.

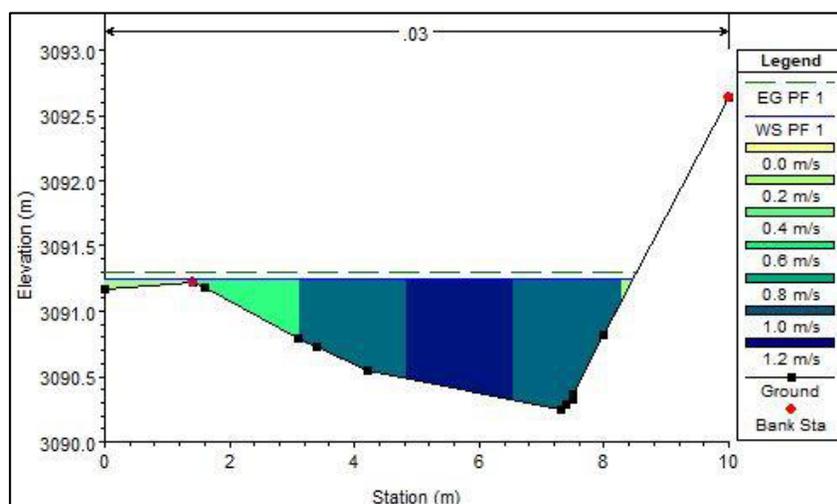
	Tiempo de retorno de 140 años							
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	3.8	3.8	3.8	0.0	3.8	3.8	3.8	0.0
A ( $\text{m}^2$ )	0.930	2.622	11.780	1.111	0.880	2.577	11.56	1.152
R (m)	0.292	0.501	0.781	0.141	0.290	0.492	0.851	0.150

y (m)	0.530	0.864	1.430	0.279	0.490	0.850	1.410	0.264
v (m/s)	0.430	1.991	4.510	1.013	0.630	2.114	4.800	1.082
NF	0.130	0.935	2.580	0.601	0.210	1.003	2.550	0.643
n	0.028	0.030	0.030	0.001	0.023	0.032	0.055	0.006

Los resultados del área (A) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 129 %, el radio hidráulico (R) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 84% el NF de  $n=0.013$  es supercrítico, mientras que el NF de  $n=0.066$  es subcrítico. Dicho resultado se observa en la tabla 50.

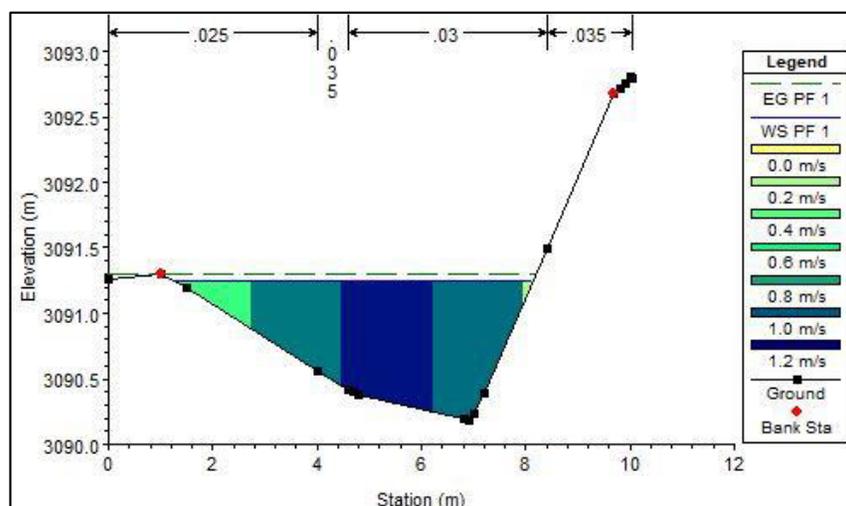
### Figura 56

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 140$  años.*



**Figura 57**

Perfil de flujo modelo  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 140$  años.

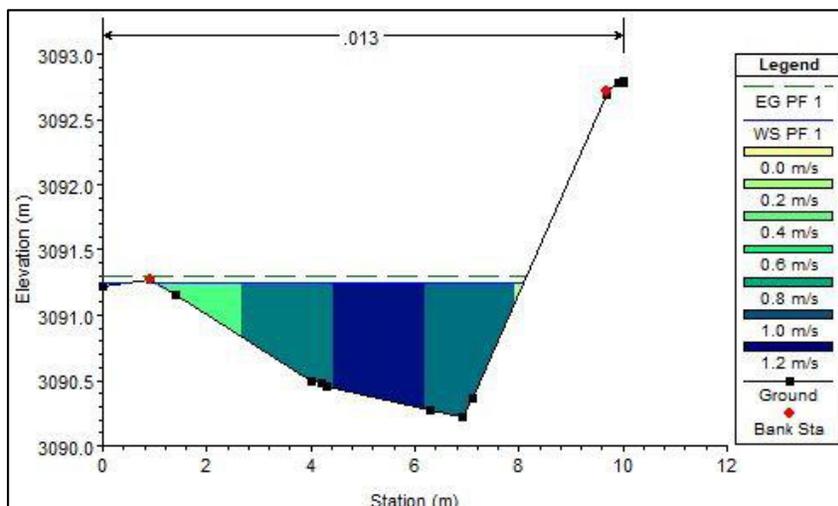
**Tabla 51**

Valores hidráulicos  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$   $Tr = 140$  años.

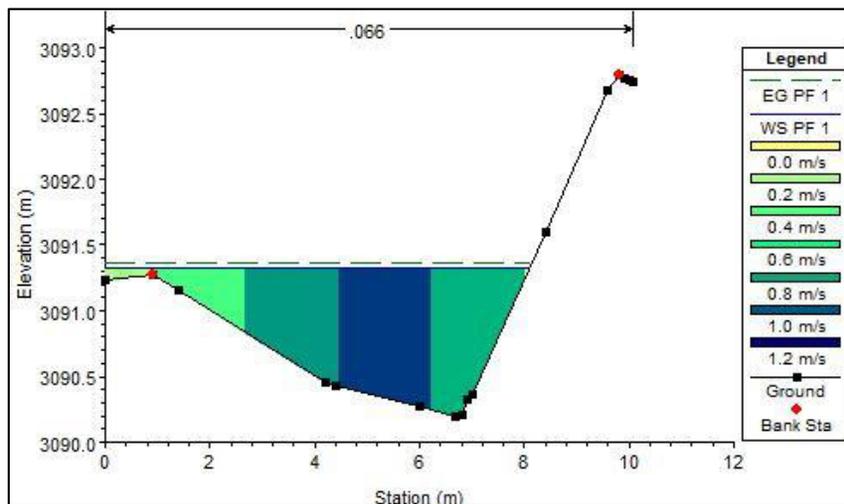
Tiempo de retorno de 140 años								
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{x}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	3.8	3.8	3.8	0.0	3.8	3.8	3.8	0.0
A (m <sup>2</sup> )	0.850	1.523	5.400	1.158	1.160	3.497	7.710	1.403
R (m)	0.235	0.328	0.520	0.081	0.388	0.604	0.890	0.117
y (m)	0.450	0.779	1.440	0.238	0.438	0.983	1.560	0.299
v (m/s)	0.610	3.653	4.930	1.352	0.590	1.430	3.850	0.670
NF	0.200	2.055	3.100	0.876	0.170	0.615	1.900	0.365
n	0.012	0.013	0.013	0.000	0.059	0.065	0.066	0.002

**Figura 58**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 140$  años.*

**Figura 59**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 140$  años.*



El rango de valores hidráulicos con un  $Tr$  de doscientos años siendo el  $Q$  ( $m^3/s$ ) máximo es de  $4.2 m^3/s$ , el área ( $A$ ) modelo homogéneo  $n = 0.030$  es mayor a  $n =$  mixto en  $3.2\%$ , el radio hidráulico ( $R$ ) de  $n = 0.030$  es mayor al modelo  $n =$  mixto en  $1.7\%$ , el número de Froude ( $NF$ ) de

$n = 0.030$  se encuentra en el rango de subcrítico, el número de Froude (NF) del modelo mixto se encuentra en el rango de crítico, el modelo homogéneo  $n = 0.030$ , el modelo  $n =$  mixto la sección del río se está desbordando, comienza a inundar la zona de estudio en ambos modelos.

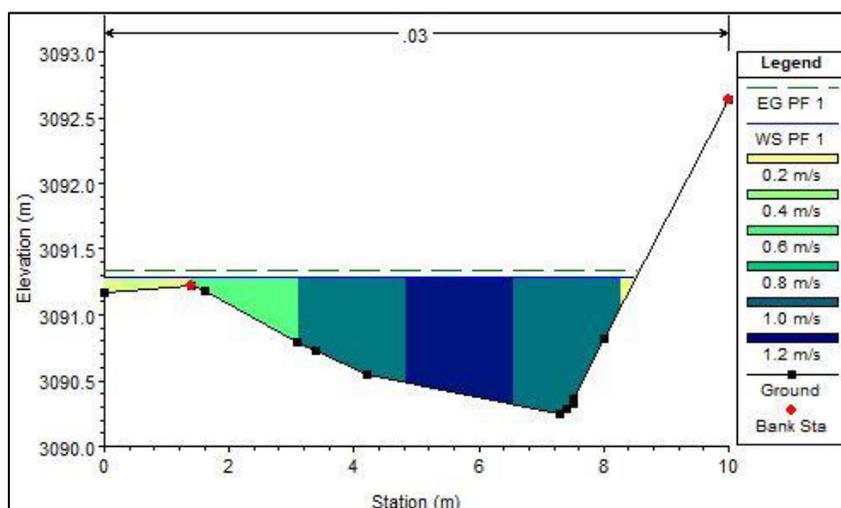
**Tabla 52**

Valores hidráulicos  $n = 0.030$ ,  $n =$  mixto  $Tr = 200$  años.

Tiempo de retorno de 200 años								
	Modelo homogéneo 1D				Modelo mixto 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
Q (m <sup>3</sup> /s)	4.2	4.2	4.2	0.0	4.2	4.2	4.2	0.0
A (m <sup>2</sup> )	1.000	2.652	11.97	1.14	0.94	2.569	12.08	1.152
R (m)	0.311	0.517	0.823	0.151	0.303	0.508	0.920	0.156
y (m)	0.550	1.342	1.460	0.297	0.500	0.965	1.440	0.253
v (m/s)	0.450	2.029	4.500	1.017	0.660	2.148	4.770	1.082
NF	0.130	0.935	2.500	0.589	0.210	1.001	2.480	0.631
n	0.028	0.030	00.030	0.001	0.024	0.032	0.056	0.006

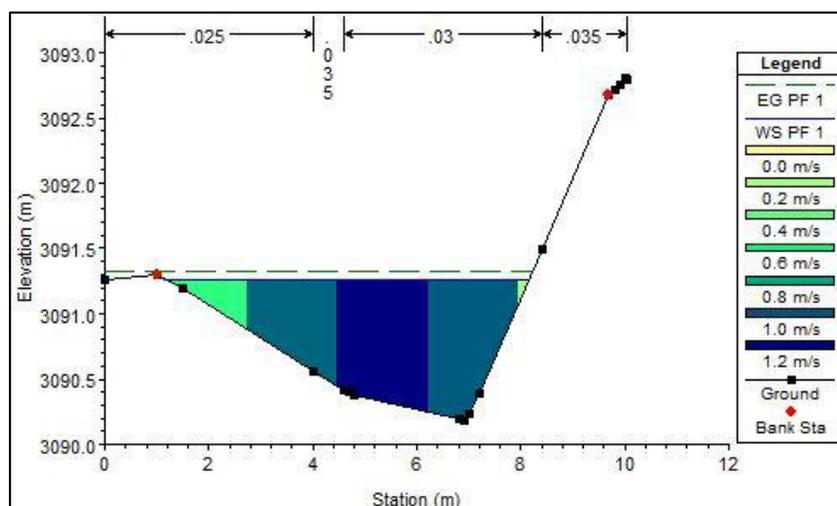
**Figura 60**

Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.030$ ,  $Tr = 200$  años.



**Figura 61**

Perfil de flujo modelo  $n = \text{mixto}$ ,  $Tr = 200$  años.



Los resultados del área ( $A$ ) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 63%, el radio hidráulico ( $R$ ) de  $n = 0.013 < n = 0.066$  en 63 %, el número de Froude ( $NF$ ) de  $n = 0.013$  es supercrítico y el número de Froude ( $NF$ ) de  $n = 0.066$  es subcrítico. Dichos resultados se observan en la tabla 52.

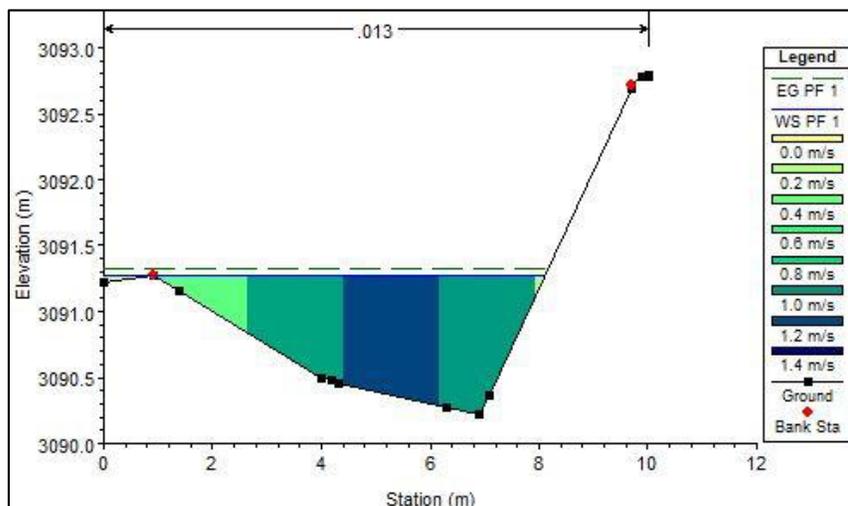
**Tabla 53**

Valores hidráulicos  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$   $Tr = 200$  años.

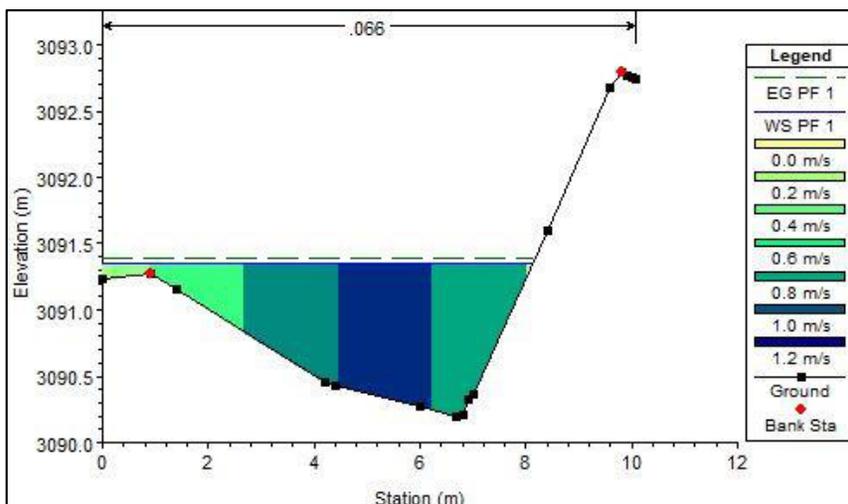
	Tiempo de retorno de 200 años							
	Modelo homogéneo 0.013 1D				Modelo homogéneo 0.066 1D			
	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$	Min	$\bar{X}$	Max	$\sigma$
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	4.2	4.2	4.2	0.0	4.2	4.2	4.2	0.0
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.900	1.987	11.580	2.452	1.160	3.599	7.710	1.403
$R$ (m)	0.245	0.379	0.999	0.179	0.388	0.618	0.983	0.143
$y$ (m)	0.490	0.803	1.440	0.233	0.438	0.999	1.600	0.310
$v$ (m/s)	0.450	3.637	4.990	1.505	0.590	1.443	3.850	0.670
NF	0.130	2.012	3.100	0.938	0.170	0.615	1.900	0.365
$n$	0.012	0.013	0.013	0.000	0.059	0.065	0.066	0.002

**Figura 62**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.013$ ,  $Tr = 200$  años.*

**Figura 63**

*Perfil de flujo modelo homogéneo  $n = 0.066$ ,  $Tr = 200$  años.*



La comparación del tirante en los distintos tiempo de retorno ( $Tr$ ) las diferencias fueron:

El periodo de 2 años el modelo de  $n = 0.030$  es mayor a  $n =$  mixto en 37 %, periodo de 10 años el modelo  $n = 0.030$  es mayor a  $n =$  mixto en 11 %, periodo de 25 años el modelo  $n = 0.030$  es

mayor a  $n = \text{mixto}$  en 4.7 %, periodo de 50 años el modelo  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en 2 %, periodo de 100 años el modelo  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en 3.6 %, periodo de 140 años el modelo  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en 1.64 %, periodo de 200 años el modelo  $n = 0.030$  es mayor a  $n = \text{mixto}$  en 28%.

En el periodo de 2 años el modelo  $n = \text{mixto}$  es mayor al  $n = 0.030$  en 7 %, el periodo de 10 años el modelo  $n = \text{mixto}$  es mayor al modelo de  $n = 0.030$  en 5.9 %, el periodo de 25 años el modelo de  $n = \text{mixto}$  es mayor a  $n = 0.030$  en 4.47 %, el periodo de 50 años el modelo de  $n = \text{mixto}$  es mayor a  $n = 0.030$  en 5.2 %, el periodo de 100 años el modelo de  $n = \text{mixto}$  es mayor a  $n = 0.030$  en 4.8 %, el periodo de 140 años el modelo  $n = \text{mixto}$  es mayor a  $n = 0.030$  en 6.2 %, el tiempo de retorno de 200 años el modelo dinámica  $n = \text{mixto}$  es mayor al modelo estática de  $n = 0.030$  en 4.18 %.

Respecto a la relación de los dos modelos, muestra que a mayor tirante menor velocidad, siendo inversamente proporcionales los resultados. Los resultados se muestran en la tabla 53, tabla 54.

**Tabla 54**

*Resumen de valores hidráulicos de  $n = 0.030$ .*

<b>Homogéneo <math>n = 0.030</math></b>						
<b>Periodo</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R (m)</b>	<b>y (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>NF</b>
2 años	2.4	1.693	0.388	0.691	1.728	0.942
10 años	2.8	1.945	0.434	0.712	1.809	0.948
25 años	3.0	2.064	0.447	0.771	1.834	0.947
50 años	3.3	2.188	0.445	0.782	1.894	0.948
100 años	3.6	2.274	0.469	0.825	1.940	0.947
140 años	3.8	2.622	0.501	0.864	1.991	0.935
200 años	4.2	2.652	0.517	1.242	2.029	0.935

**Tabla 55**

*Resumen de valores hidráulicos de modelo n = mixto.*

<b>Mixto</b>						
<b>Periodo</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R (m)</b>	<b>y (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>NF</b>
2 años	2.4	1.754	0.383	0.504	1.849	1.015
10 años	2.8	1.719	0.443	0.640	1.916	1.038
25 años	3.0	2.039	0.438	0.736	1.946	1.007
50 años	3.3	2.194	0.435	0.766	1.994	1.008
100 años	3.6	2.296	0.453	0.796	2.035	1.005
140 años	3.8	2.577	0.492	0.850	2.114	1.003
200 años	4.2	2.569	0.508	0.965	2.148	1.001

En el periodo de retorno de 2 años del modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 77 %, periodo de 10 años el modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 67 %, periodo 25 años el modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 46 %, periodo de 50 años el modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 41 %, periodo de 100 años modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 45 %, periodo de 140 años el modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 44 %, periodo de 200 años el modelo  $n = 0.066$  es mayor a  $n = 0.013$  en 63 %, los valores de los tirantes del modelo homogéneo  $n = 0.066$  son mayores al modelo homogéneo  $n = 0.013$  en todos los tiempo de retorno analizados.

Resultados de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ , respecto a la velocidad son:

En el periodo 2 años del modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 134 %, periodo de 10 años el modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 130 %, periodo 25 años el modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 134 %, periodo de 50 años el modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 132 %, periodo de 100 años modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 141 %, periodo de 140 años el modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 155 %, periodo de 200 años el modelo  $n = 0.013$  es mayor a  $n = 0.066$  en 151 %, los valores de las velocidades del modelo homogéneo  $n = 0.013$  son

mayores al modelo homogéneo  $n = 0.066$  en todos los tiempo de retorno analizados con un porcentaje de incremento de resultados de más de un 100 %, muestran los resultados de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ ; respecto al tirante la tabla 55 y tabla 56.

**Tabla 56**

*Resumen de parámetros hidráulicos  $n = 0.013$ .*

<b>Homogéneo <math>n = 0.013</math></b>						
<b>Periodo</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R (m)</b>	<b>y (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>NF</b>
2 años	2.4	1.222	0.296	0.392	2.854	1.872
10 años	2.8	1.232	0.333	0.492	2.924	1.872
25 años	3.0	1.56	0.348	0.577	3.034	1.87
50 años	3.3	1.646	0.361	0.613	3.116	1.868
100 años	3.6	1.402	0.327	0.627	3.314	1.939
140 años	3.8	1.416	0.328	0.679	3.653	2.055
200 años	4.2	1.773	0.379	0.703	3.675	2.012

**Tabla 57**

*Resumen de parámetros hidráulicos  $n = 0.066$ .*

<b>Homogéneo <math>n = 0.066</math></b>						
<b>Periodo</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R (m)</b>	<b>y (m)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>NF</b>
2 años	2.4	2.167	0.494	0.696	1.218	0.609
10 años	2.8	2.454	0.528	0.823	1.270	0.609
25 años	3.0	2.705	0.544	0.843	1.292	0.61
50 años	3.3	2.744	0.545	0.868	1.343	0.615
100 años	3.6	3.058	0.593	0.912	1.372	0.526
140 años	3.8	3.198	0.604	0.983	1.430	0.615
200 años	4.2	3.278	0.618	1.145	1.460	0.615

### *Desempeño de parámetros hidráulicos*

Los coeficientes de eficiencia del área del modelo homogéneo  $n = 0.030$  analizado en todos los periodos de retorno respecto a los valores observados se encuentran entre  $1.350 \leq \text{RMSE} \leq 2.247$ , valores lejos del cero los resultados están muy lejos del real, el error medio absoluto los valores se encuentran  $1.163 \leq \text{MAE} \leq 1.388$ , resultados lejos del cero, valores lejanos al valor real, error medio porcentual absoluto los valores se encuentran entre  $0.405 \leq \text{MAPE} \leq 0.468$  resultados lejos del cero, valores lejanos al valor real, el coeficiente de determinación se encuentra  $0.254 \leq R^2 \leq 0.118$  los modelos no son adecuados para explicar una relación entre las variables observadas y estimadas. El modelo dinámica  $n = \text{mixto}$  con los periodos de retorno obtuvo valores que se encuentran entre  $1.396 < \text{RMSE} < 2.206$ ,  $1.230 < \text{MAE} < 1.263$ ,  $0.432 < \text{MAPE} < 0.420$  resultados lejos del cero, valores lejanos al valor real. El coeficiente de variación y sus resultados se encuentran  $0.179 < R^2 < 0.185$  los modelos no se ajustan para describir una relación entre las dos variables, observado y estimado. Los resultados se muestran en la tabla 57.

**Tabla 58**

*Desempeño del área de los modelos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ .*

Periodo	Área							
	Modelo homogéneo $n = 0.030$				Modelo mixto			
	RMSE	MAE	MAPE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	MAPE	R <sup>2</sup>
2 años	1.350	1.163	0.405	0.254	1.397	1.231	0.433	0.180
10 años	1.243	1.043	0.362	0.223	1.281	1.102	0.386	0.336
25 años	1.199	1.000	0.346	0.211	1.232	1.049	0.366	0.326
50 años	1.161	0.980	0.339	0.190	1.182	0.998	0.346	0.310
100 años	1.302	1.066	0.365	0.133	1.280	1.029	0.352	0.268
140 años	2.181	1.366	0.459	0.124	2.160	1.247	0.415	0.123
200 años	2.246	1.388	0.468	0.118	2.205	1.261	0.419	0.184

Los coeficientes de eficiencia del área del modelo homogéneo  $n = 0.013$  con todos los periodos de retorno respecto a los valores observados se encuentran entre  $1.762 < RMSE < 2.498$ ,  $1.025 < MAE < 1.1.956$ ,  $0.549 < MAPE < 0.659$  resultados lejos del cero, valores lejanos al valor real. El coeficiente de determinación los valores se encuentran  $0.254 < R^2 < 0.168$  los modelos no se ajustan para describir una relación entre las variables, el observado y estimado. Los resultados se observan en la tabla 58.

En el modelo homogéneo  $n = 0.066$  con todos los periodos de retorno se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.383 < RMSE < 1.408$ ,  $0.477 < MAE < 0.973$ ,  $0.264 < MAPE < 0.341$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno,  $0.100 < R^2 < 0.130$  los modelos no se ajustan para describir una correlación entre las variables, la observada y estimada. Los resultados se observan en la tabla 59.

**Tabla 59**

*Desempeño del área de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ .*

Periodo	Área							
	Modelo homogéneo $n = 0.013$				Modelo homogéneo $n = 0.066$			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	1.763	1.026	0.550	0.255	0.384	0.478	0.265	0.101
10 años	2.586	1.571	0.420	0.175	0.892	0.749	0.226	0.113
25 años	1.730	1.543	0.539	0.247	0.874	0.733	0.260	0.103
50 años	1.698	1.535	0.535	0.231	0.901	0.709	0.253	0.114
100 años	1.735	1.591	0.550	0.164	1.220	0.844	0.295	0.143
140 años	1.783	1.682	0.577	0.184	1.405	0.973	0.340	0.142
200 años	2.497	1.955	0.658	0.167	1.407	0.972	0.340	0.129

Los coeficientes de eficiencia de radio hidráulico del modelo homogéneo  $n=0.030$  con cada uno del periodo de retorno analizados respecto a los valores observados se encuentran entre

$0.118 < \text{RMSE} < 0.336$ ,  $0.091 < \text{MAE} < 0.153$ ,  $0.201 < \text{MAPE} < 0.279$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores se encuentran entre  $0.255 < R^2 < 0.204$  el ajuste no es bueno, los datos se observan en la tabla 45.

El modelo  $n = \text{mixto}$  con los periodos de retorno se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.114 < \text{RMSE} < 0.255$ ,  $0.089 < \text{MAE} < 0.157$ ,  $0.197 < \text{MAPE} < 0.255$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno. El coeficiente de determinación sus valores se encuentran entre  $0.341 < R^2 < 0.645$  el ajuste no es bueno; cabe señalar que el modelo no se ajusta para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado. Los datos se observan en la tabla 59.

### Tabla 60

*Desempeño del radio hidráulico de los modelos  $n = 0.030$  y  $n = \text{mixto}$ .*

Radio hidráulico								
Periodo	Modelo homogéneo $n = 0.030$				Modelo mixto			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	0.119	0.092	0.202	0.256	0.115	0.090	0.198	0.341
10 años	0.111	0.086	0.186	0.297	0.104	0.078	0.169	0.375
25 años	0.109	0.087	0.189	0.305	0.101	0.075	0.161	0.390
50 años	0.109	0.089	0.194	0.350	0.141	0.097	0.201	0.144
100 años	0.126	0.104	0.222	0.511	0.114	0.090	0.192	0.558
140 años	0.323	0.173	0.369	0.184	0.245	0.148	0.287	0.640
200 años	0.335	0.152	0.278	0.203	0.254	0.156	0.254	0.645

La eficiencia de radio hidráulico del modelo homogéneo  $n = 0.013$  con todos los periodos de retorno respecto a los valores observados, con lo estimado se obtuvieron valores de raíz del error cuadrático medio (RMSE) que se encuentran entre  $0.193 < \text{RMSE} > 0.193$ , los valores de error medio absoluto (MAE) se encuentran  $0.179 < \text{MAE} < 0.166$ , el error medio porcentual

absoluto (MAPE) se encuentra entre  $0.333 < \text{MAPE} < 0.359$  el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero. El coeficiente de variación varía entre  $0.158 < R^2 < 0.166$  el ajuste no es bueno. Los resultados se muestran en la tabla 60.

El modelo  $n = 0.066$  con los periodos de retorno se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.122 < \text{RMSE} < 0.275$ ,  $0.092 < \text{MAE} < 0.0.233$ ,  $0.207 < \text{MAPE} < 0.500$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno,  $0.173 < R^2 < 0.555$  el ajuste no es bueno; cabe señalar que el modelo no se ajusta para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

**Tabla 61**

*Desempeño del radio hidráulico de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ .*

Radio hidráulico								
Periodo	Modelo homogéneo $n = 0.013$				Modelo homogéneo $n = 0.066$			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	0.194	0.180	0.334	0.159	0.123	0.093	0.208	0.174
10 años	0.181	0.159	0.352	0.164	0.220	0.093	0.579	0.349
25 años	0.172	0.154	0.343	0.204	0.127	0.105	0.248	0.373
50 años	0.164	0.147	0.331	0.245	0.147	0.126	0.292	0.488
100 años	0.199	0.168	0.365	0.265	0.218	0.179	0.397	0.578
140 años	0.185	0.161	0.355	0.314	0.265	0.222	0.496	0.547
200 años	0.192	0.165	0.358	0.325	0.274	0.232	0.499	0.554

Los coeficientes de eficiencia de velocidad del modelo homogéneo  $n = 0.030$  con los distintos periodos de retorno estudiados, respecto a los valores observados y estimados se obtuvieron valores que se encuentran entre  $1.049 < \text{RMSE} < 1.293$ ,  $0.652 < \text{MAE} < 0.956$ ,  $0.587 < \text{MAPE} < 0.861$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores se encuentran entre  $0.160 < R^2 < 0.260$ , el

ajuste no es bueno; cabe señalar que el modelo no es el adecuado para describir la relación entre las variables que son el observado y el estimado.

El modelo  $n =$  mixto con los periodos de retorno se obtuvieron valores que se encuentran entre  $1.225 < \text{RMSE} < 1.4301$ ,  $0.764 < \text{MAE} < 1.037$ ,  $0.685 < \text{MAPE} < 0.929$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero, el coeficiente de determinación varía entre  $0.135 < R^2 < 0.142$ , el ajuste no es bueno; cabe señalar que el modelo no se ajusta para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

**Tabla 62**

*Desempeño de velocidad de los modelos  $n = 0.030$  y  $n =$  mixto.*

Velocidad								
Periodo	Modelo homogéneo $n=0.030$				Modelo mixto			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	1.050	0.653	0.588	0.259	1.226	0.765	0.686	0.136
10 años	1.106	0.721	0.647	0.162	1.271	0.823	0.736	0.135
25 años	1.131	0.751	0.675	0.168	1.291	0.849	0.760	0.136
50 años	1.169	0.796	0.714	0.164	1.325	0.834	0.799	0.136
100 años	1.202	0.838	0.753	0.161	1.351	0.931	0.834	0.137
140 años	1.262	0.922	0.832	0.181	1.405	1.005	0.901	0.140
200 años	1.292	0.955	0.860	0.182	1.430	1.036	0.928	0.141

Los coeficientes de eficiencia de radio hidráulico del modelo homogéneo  $n = 0.013$  con todos los periodos de retorno respecto a los valores observados y estimados los resultados obtenidos se encuentran entre  $0.193 < \text{RMSE} < 0.193$ ,  $0.179 < \text{MAE} < 0.166$ ,  $0.333 < \text{MAPE} < 0.359$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno,  $0.158 < R^2 < 0.166$  el ajuste no es bueno; cabe señalar que el modelo no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

El modelo  $n = 0.066$  con los periodos de retorno se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.122 < RMSE < 0.275$ ,  $0.092 < MAE < 0.0.233$ ,  $0.207 < MAPE < 0.500$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero, el coeficiente de variación ( $R^2$ ) sus resultados fluctuaron entre  $0.173 < R^2 < 0.555$  el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

**Tabla 63**

*Desempeño de velocidad de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ .*

Velocidad								
Periodo	Modelo homogéneo $n = 0.013$				Modelo homogéneo $n = 0.066$			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	2.153	1.776	1.555	0.254	0.587	0.353	0.313	0.143
10 años	2.268	1.885	1.654	0.263	0.601	0.346	0.306	0.138
25 años	2.320	1.939	1.700	0.270	0.600	0.347	0.308	0.139
50 años	2.398	2.018	1.769	0.276	0.673	0.369	0.328	0.124
100 años	2.557	2.213	1.967	0.230	0.675	0.373	0.334	0.122
140 años	2.830	2.546	2.326	0.128	0.689	0.389	0.353	0.212
200 años	2.881	2.564	2.329	0.147	0.689	0.389	0.323	0.121

Los coeficientes de eficiencia de velocidad del modelo homogéneo  $n = 0.030$  con los periodos de retorno estudiados, respecto a las dos variables de los valores observados con los valores estimados los resultados se encuentran de los coeficientes de eficiencia entre  $0.043 < RMSE > 0.052$ ,  $0.023 < MAE < 0.043$ ,  $0.043 < MAPE < 0.061$  por lo que el ajuste es considerado como bueno, su valor se encuentra próximo al cero, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores varían entre  $0.797 < R^2 < 0.923$  el ajuste es bueno, los valores, los indicadores resumen

que el desempeño es bueno, es el adecuado para describir la relación entre las variables que son el observado y el estimado, el de mejor ajuste el periodo de retorno de dos años.

El modelo  $n =$  mixto con los periodos de retorno estudiados, respecto a las dos variables de los valores observados con los valores estimados los resultados se encuentran entre  $0.553 < RMSE < 0.682$ ,  $0.081 < MAE < 0.094$ ,  $0.133 < MAPE < 0.146$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno, sus valores se encuentran alejados del cero, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores varían entre  $0.431 < R^2 < 0.564$ , el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado. Los resultados se muestran en la tabla 63.

**Tabla 64**

*Desempeño de tirante de los modelos  $n = 0.030$  y  $n =$  mixto.*

Tirante								
Periodo	Modelo homogéneo $n = 0.030$				Modelo mixto			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	0.044	0.024	0.044	0.922	0.553	0.082	0.134	0.563
10 años	0.045	0.027	0.046	0.829	0.593	0.083	0.135	0.559
25 años	0.047	0.036	0.050	0.891	0.587	0.084	0.137	0.479
50 años	0.048	0.037	0.051	0.886	0.607	0.085	0.138	0.475
100 años	0.049	0.036	0.056	0.838	0.631	0.089	0.142	0.407
140 años	0.051	0.042	0.058	0.821	0.675	0.091	0.141	0.460
200 años	0.052	0.043	0.060	0.798	0.681	0.093	0.145	0.432

Las pruebas hechas de eficiencia con el valor observado y estimado en el río Collana, el coeficiente de eficiencia del modelo homogéneo  $n = 0.013$ , la raíz del error cuadrático medio (RMSE) se encuentra,  $0.219 < RMSE < 0.313$  tiende aumentar su valor según aumenta el tiempo de retorno, el error medio absoluto (MAE) se encuentra,  $0.185 < MAE < 0.213$  tendencia a

incrementar según el tiempo de retorno, el error medio porcentual (MAPE) se encuentra,  $0.308 < \text{MAPE} < 0.413$  aumentando según el tiempo de retorno se obtuvo un coeficiente, los resultados de ajuste no son considerados como bueno, sus valores se encuentran alejados del cero, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se encuentra entre los rangos  $0.080 < R^2 < 0.306$ , no se ajusta al tirante observado, el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, es inadecuado para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado, y el tiempo de retorno a medida que va aumentando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) disminuye.

En el modelo homogéneo  $n = 0.066$  con los periodos de retornos estudiados se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.220 \leq \text{RMSE} \leq 0.312$ ,  $0.156 \leq \text{MAE} \leq 0.212$ ,  $0.284 \leq \text{MAPE} \leq 0.412$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero, el coeficiente de variación ( $R^2$ ) sus resultados fluctuaron entre  $0.092 \leq R^2 \leq 0.305$  el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

**Tabla 65**

*Desempeño de tirante de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$*

Periodo	Tirante							
	Modelo homogéneo $n = 0.013$				Modelo homogéneo $n = 0.066$			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	0.220	0.186	0.309	0.305	0.399	0.304	0.594	0.032
10 años	0.214	0.174	0.284	0.225	0.386	0.286	0.537	0.042
25 años	0.247	0.156	0.297	0.226	0.402	0.306	0.571	0.080
50 años	0.227	0.172	0.325	0.165	0.427	0.330	0.614	0.082
100 años	0.270	0.171	0.324	0.092	0.458	0.374	0.696	0.001
140 años	0.303	0.206	0.390	0.095	0.519	0.445	0.827	0.004

200 años	0.312	0.212	0.412	0.081	0.524	0.451	0.831	0.004
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Para especificar el efecto de modificar el coeficiente de macro rugosidad en el comportamiento de la dimensión unidimensional resultante, se analizan cuatro consideraciones diferentes. Se realizaron tránsitos con coeficientes de Manning variables a lo largo de la sección transversal, los valores seleccionados son:  $n = 0,013$ ;  $n = 0,030$ ;  $n = 0,066$ , modelo = mixto.

Los coeficientes de eficiencia de velocidad del modelo homogéneo  $n = 0.030$  con los periodos de retorno respecto a los valores observados se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.002 \leq RMSE \leq 0.022$ ,  $0.001 \leq MAE \leq 0.003$ ,  $0.042 \leq MAPE \leq 0.048$  por lo que el ajuste no es considerado como bueno,  $0.008 \leq R^2 \leq 0.016$  el ajuste no es bueno, los valores.

En el modelo dinámica  $n =$  mixto con los distintos periodos de retorno estudiado se obtuvieron valores de correlación que se encuentran entre  $0.005 \leq RMSE \leq 0.006$ ,  $0.003 \leq MAE \leq 0.004$ ,  $0.101 \leq MAPE \leq 0.125$  no presenta una tendencia homogénea por lo que el ajuste no es considerado como bueno, los valores de  $R^2$  varían entre  $0.001 \leq R^2 \leq 0.004$ , el coeficiente de determinación indica que su ajuste no es bueno.

### Tabla 66

*Desempeño de rugosidad de Manning de los modelos  $n = 0.030$  y  $n =$  mixto.*

Periodo	Rugosidad de Manning							
	Modelo homogéneo $n = 0.030$				Modelo mixto			
	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
2 años	0.0022	0.001	0.042	0.010	0.005	0.003	0.101	0.003
10 años	0.002	0.003	0.042	0.010	0.006	0.003	0.105	0.003
25 años	0.002	0.001	0.044	0.008	0.006	0.003	0.109	0.003
50 años	0.002	0.001	0.044	0.008	0.005	0.003	0.108	0.003
100 años	0.002	0.001	0.048	0.003	0.006	0.004	0.125	0.002

140 años	0.002	0.002	0.045	0.016	0.005	0.004	0.112	0.002
200 años	0.002	0.002	0.046	0.014	0.005	0.004	0.121	0.002

Los coeficientes de eficiencia de radio hidráulico del modelo homogéneo  $n = 0.013$  con los periodos de retorno estudiado respecto a los valores observados se obtuvieron valores que se encuentran entre  $0.015 \leq RMSE \leq 0.017$ ,  $0.016 \leq MAE \leq 0.17$ ,  $0.546 \leq MAPE \leq 0.575$  el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados no son homogéneos están lejos del cero, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores limitan entre  $0.001 \leq R^2 \leq 0.002$  el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

En el modelo  $n = 0.066$  con los periodos de retorno se obtuvieron valores de correlación que se encuentran entre  $0.035 \leq RMSE \leq 0.036$ ,  $0.035 \leq MAE \leq 0.0368$ ,  $1.175 \leq MAPE \leq 1.304$  el ajuste no es considerado como bueno, sus resultados están lejos del cero, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sus valores se encuentran en un rango de  $0.015 \leq R^2 \leq 0.019$  el ajuste no es bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, no se adecúa para describir la correlación entre las variables que son el observado y el estimado.

**Tabla 67**

*Desempeño de rugosidad de Manning de los modelos  $n = 0.013$  y  $n = 0.066$ .*

<b>Rugosidad de Manning</b>								
<b>Periodo</b>	<b>Modelo homogéneo <math>n = 0.013</math></b>				<b>Modelo homogéneo <math>n = 0.066</math></b>			
	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b><math>R^2</math></b>
2 años	0.015	0.0155	0.548	0.002	0.036	0.0368	1.304	0.016
10 años	0.016	0.0156	0.547	0.001	0.036	0.0363	1.278	0.015

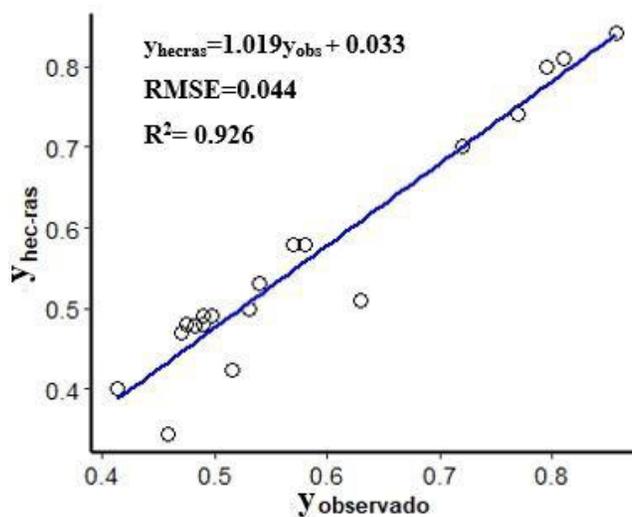
25 años	0.017	0.016	0.564	0.001	0.035	0.035	1.197	0.018
50 años	0.016	0.017	0.546	0.002	0.035	0.035	1.198	0.017
100 años	0.017	0.017	0.565	0.006	0.035	0.035	1.187	0.015
140 años	0.016	0.017	0.554	0.001	0.035	0.035	1.175	0.019
200 años	0.017	0.017	0.575	0.002	0.035	0.035	1.191	0.018

La dispersión y el ajuste de los valores respecto a los tirantes observados y estimados en el tiempo de retorno de dos años, se encontraron una buena concordancia entre las dos variables.

Los resultados de HEC-RAS estimado y la marca de agua observada la correlación de raíz del error cuadrático medio (RMSE) es de 0.044 un valor cercano al cero el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.926 su ajuste fue bueno, los valores, los indicadores resumen que el desempeño fue bueno, es el adecuado para describir la relación entre las variables que son el observado y el estimado, del modelo homogéneo  $n=0.030$ , el estimado en HEC-RAS demuestra que es un software de gran exactitud. Es un indicador representativo de un modelo lineal, presenta una correlación directa; los resultados se muestran en la figura 65.

#### Figura 64

*Calibración de tirante de modelo homogéneo  $n = 0.030$*

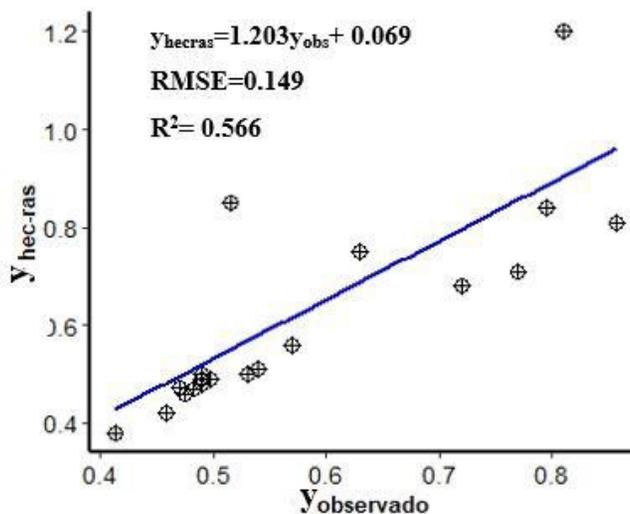


El modelo mixto,  $n = \text{mixto}$  presenta el gráfico de dispersión y el ajuste de los valores respecto a los tirantes observados y estimados, en el tiempo de retorno de dos años, se encontró una concordancia entre las dos variables no adecuadas.

Los resultados de HEC-RAS medio (RMSE) es de 0.149 un valor cercano alejado de cero el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.566 el ajuste no es bueno, los indicadores resumen que el desempeño no es bueno, es inadecuado para describir la relación entre las variables que son el observado y el estimado, del modelo  $n = \text{mixto}$ , es un indicador que no es representativo de un modelo lineal, presenta una correlación directa, los resultados se muestran en la figura 66.

### Figura 65

*Calibración de tirante de modelo  $n = \text{mixto}$ .*



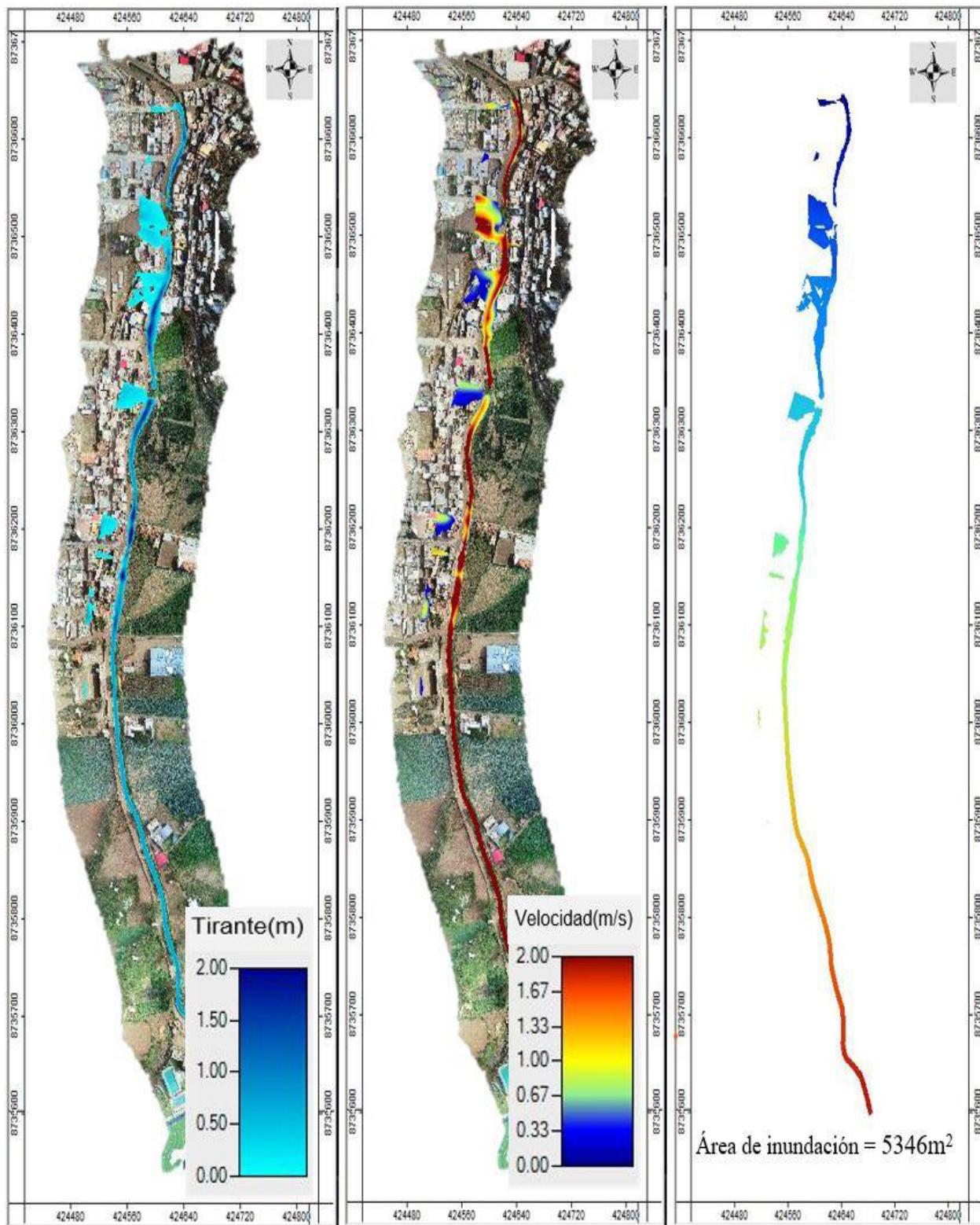
### *Modelación de inundación*

Según los resultados de las simulaciones hidráulicas desarrolladas por HEC-RAS con los programas ArcGIS, HEC-HMS, SAGA y Autodesk Civil 3D se obtuvieron el área que representan las llanuras de desborde del río Collana correspondientes a tiempo de retorno de 140 años. El río

Collana, que es parte de la cuenca hidrográfica regional del río Perené, presentó un área de inundación de 5346 m<sup>2</sup>, que muestra la llanura aluvial de 140 años en la zona de estudio en la figura 67.

**Figura 66**

*Inundación en un Tr de 140 años*



### ***Modelo bidimensional***

El concepto fundamental del modelado 2D en HEC-RAS utilizó el enfoque de batimetría subcuadrícula y discretización híbrida para simular la inundación del río y áreas adyacentes solo a lo largo del canal, El uso de una malla computacional es la base del modelado de llanuras aluviales en 2D. El botón editor de área de flujo 2D se puede usar para ajustar los detalles espaciales del polígono. Los detalles espaciales incluyen los tamaños de cada celda de flujo 2D y los valores de macro rugosidad fluvial (Yazdan et al., 2022), en RAS Mapper es una aplicación del software HEC-RAS, se importó un DEM de la zona para generar el terreno donde se incluye el canal, con sus respectivos datos batimétricos, se utilizó la cobertura de rugosidad de  $n = 0.030$  para el modelo homogéneo y una cobertura mixta para el modelo espacial en formato shapefile para asociar la cobertura del terreno y datos geométricos, para calcular la pérdida por fricción a lo largo de la superficie tanto en modelo estático como espacial.

Se creó un polígono con malla computacional que representan los límites de la región de flujo 2D, con una malla de tamaño de 10 x 10 generando un número de celdas cuadrículas de 1,068, la cual contiene datos de elevación y rugosidad con el editor de datos geométricos se editan las regiones de refinamiento con celdas SIG con un tamaño de malla de 5 x 5, el enmallado se muestra en la figura 82.

El análisis del flujo con la malla creada en 2D y los datos de geometría, se realizó simulaciones de estados inestables, la condición utilizada fue un hidrograma de flujo, es la modificación del caudal según el tiempo, se creó un hidrograma de flujo asignado en el extremo hacia aguas abajo, del flujo de 2D, la imagen del análisis del flujo se muestra en la figura 68.

Con el intervalo de salida de mapeo se crearon mapas dinámicos, para el estudio que tuvo la duración de 24 horas de tiempo computacional, paso de 6 segundos y 3 minutos, se utilizaron

los segundos y minutos para obtener el mapeo. El tiempo para completar la simulación duró 24 minutos para el modelo 2D tanto en el modelo homogéneo  $n = 0.030$  como para el modelo mixto.

**Figura 67**

*DEM de la zona de estudio, malla de área de flujo.*

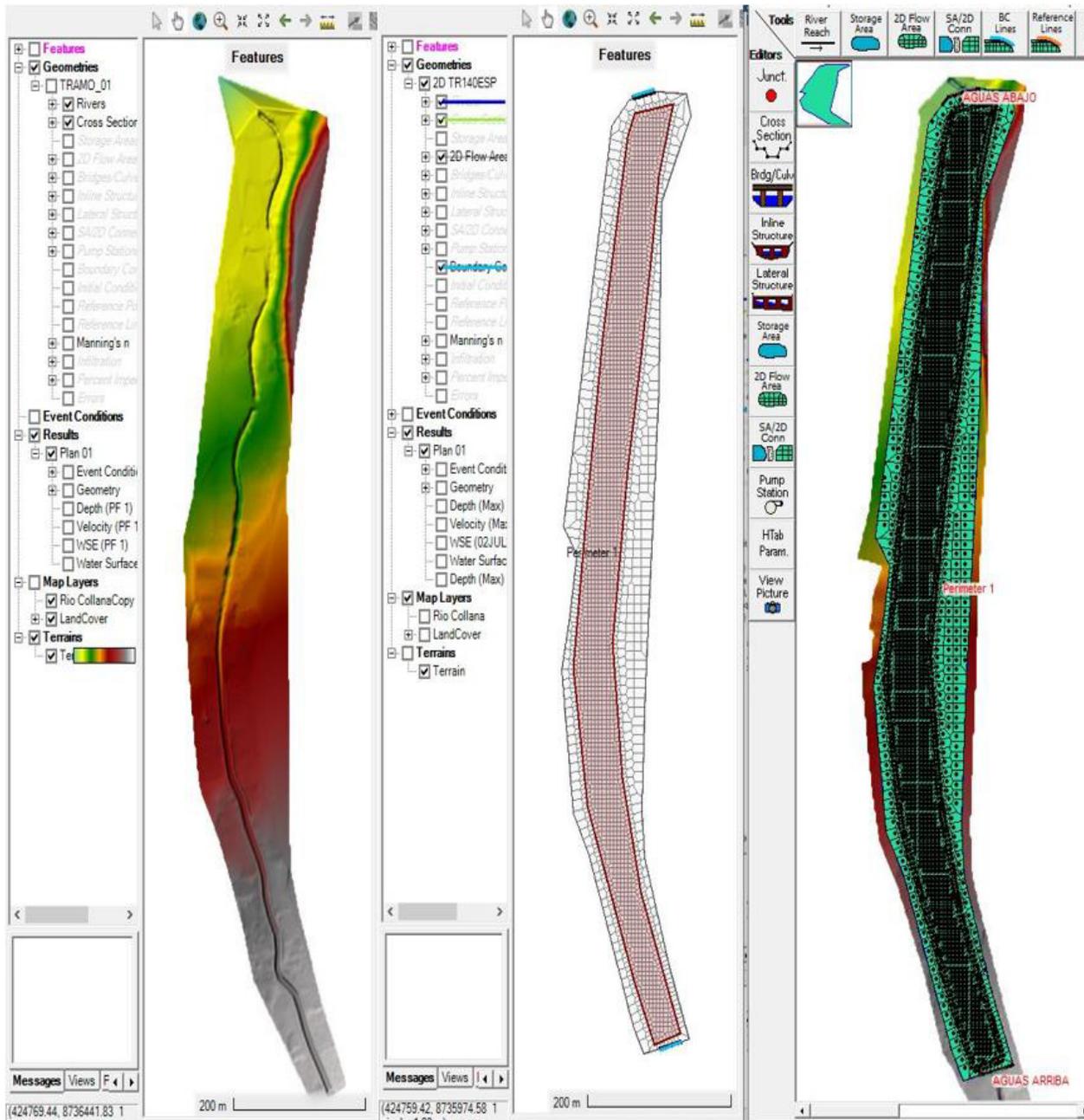
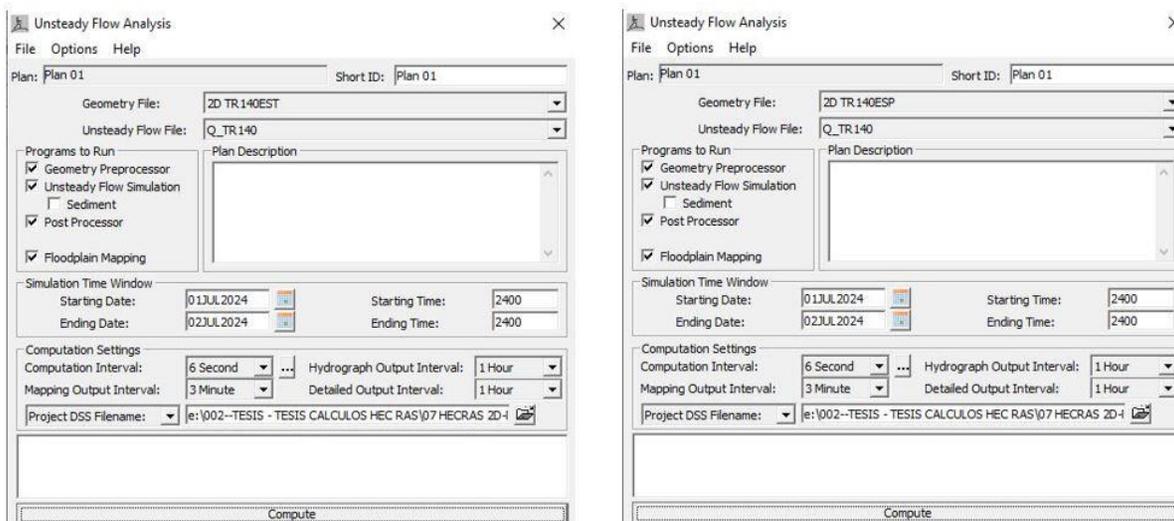


Figura 68

Ventana de análisis de flujo inestable.



El modelado 2D se seleccionó una sección para modelo homogéneo y el modelo mixto.

Los resultados obtenidos muestran que la primera sección homogénea presenta una diferencia de tirante respecto al segundo mixto en un tiempo de retorno de 140 años.

Figura 69

Perfil de flujo en 2D modelo homogéneo  $n = 0.030$ , modelo  $n =$  mixto.

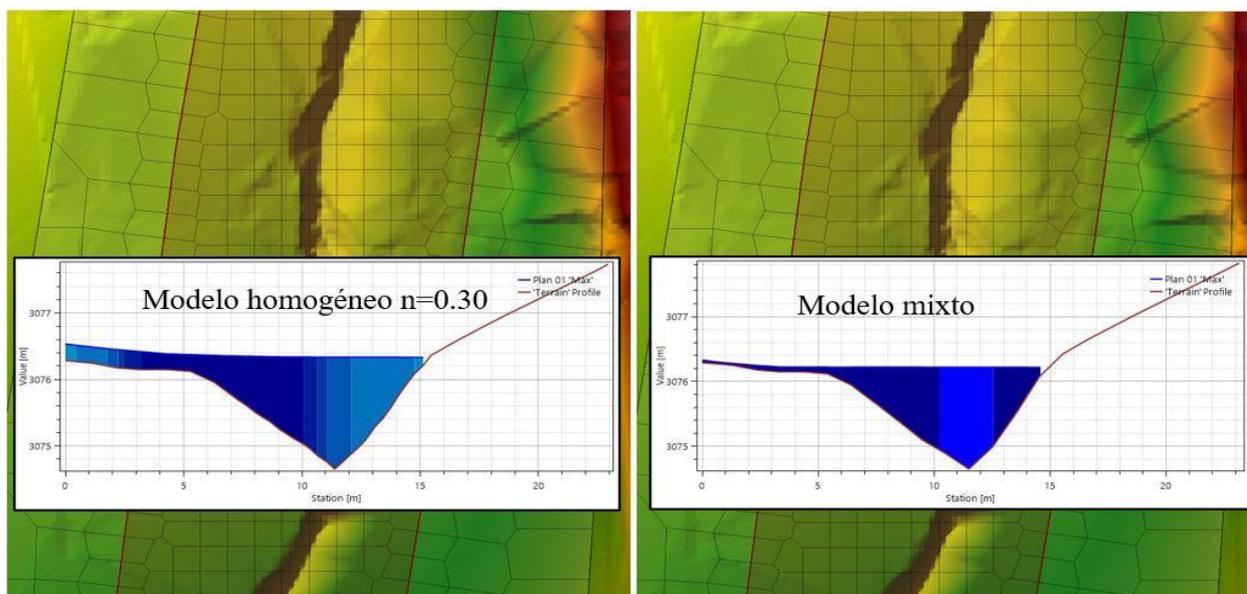
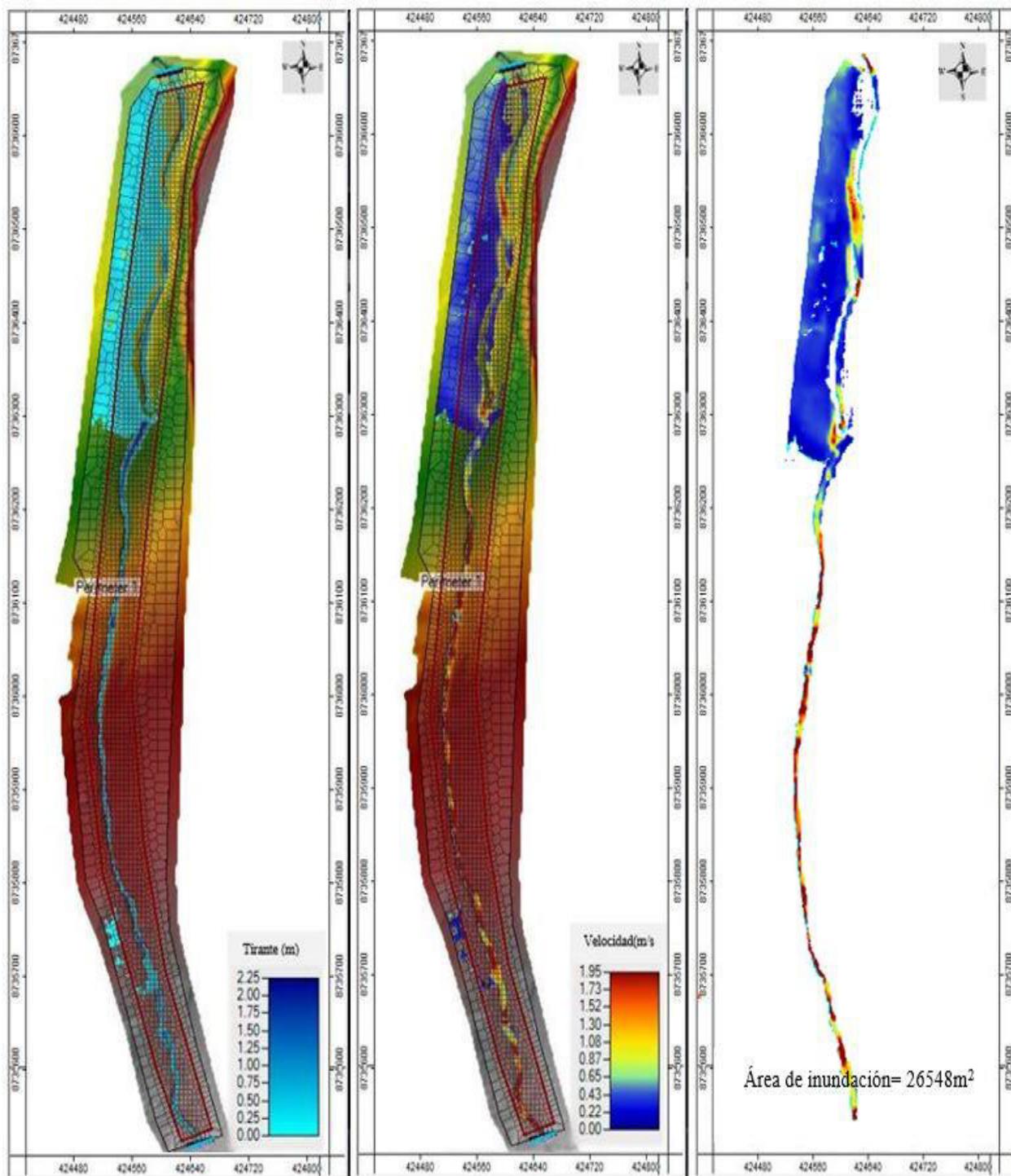


Figura 70

Inundación en un modelo bidimensional  $Tr = 140$  años.



**Tabla 68***Resumen de modelos estática y dinámica en 2d.*

<b>Tiempo de retorno de 140 años</b>				
	<b>Modelo estática 2D</b>		<b>Modelo dinámica 2D</b>	
	Min	Max	Min	Max
Q (m <sup>3</sup> /s)	3.8	3.8	3.8	3.8
V (m/s)	1.49	2.25	1.58	2.39
Y (m)	1.15	2.25	1.08	1.96

**Algoritmo evolutivo de programación de expresión genética (GEP)**

El modelo GEP creó un árbol de expresión no lineal entre la macro rugosidad y las variables de entrenamiento principales (y, B, A, R, S, V, NF y Q), con un error relativamente bajo y alta precisión generando una ecuación del coeficiente de macro rugosidad fluvial.

$$n = \frac{S}{\sqrt{\frac{S}{R}(NF + v)(v + 4.199)}}$$

Donde: n es el coeficiente de macro rugosidad, S es la pendiente en el tramo (m/m), R es el radio hidráulico, v es la velocidad del cauce (m/s), NF es el número de Froude.

**Tabla 69***Límites y promedio del coeficiente de Manning.*

<b>Resultados de GEP</b>			
	Min	$\bar{x}$	Max
Macro rugosidad fluvial (n)	0.026	0.030	0.035

Los resultados de los valores de GEP en el coeficiente de macro rugosidad fluvial, presentan un valor mínimo de 0.026, un promedio de las veinte secciones de 0.030, un valor máximo de 0.035.

Estos resultados demostraron que el modelo propuesto tiene la capacidad de predecir la rugosidad con gran precisión. La resistencia al flujo de rugosidad en comparación con la estimación de la GEP.

### **Tabla 70**

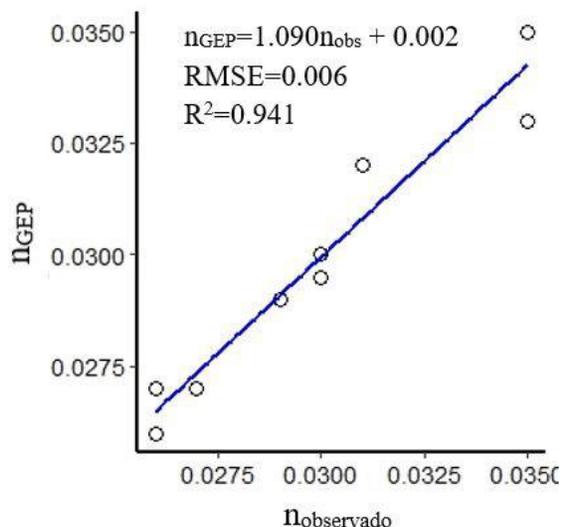
*Coeficiente de eficiencia resultantes de calibración del modelo GEP.*

<b>Programación de expresión genética</b>				
<b>Periodo</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
2 años	0.0006	0.0002	0.007	0.941

Los resultados de  $RMSE = 0.0006$ ,  $MAE = 0.0002$ ,  $MAPE = 0.007$ , resultados se encuentran cerca del cero, valores cercanos al valor real. El coeficiente de variación fue  $R^2 = 0.941$  el modelo es el adecuado para describir una relación entre las dos variables, observada y estimada. Se muestra una función lineal de mejor ajuste. Se muestra los resultados en la figura 72.

## Figura 71

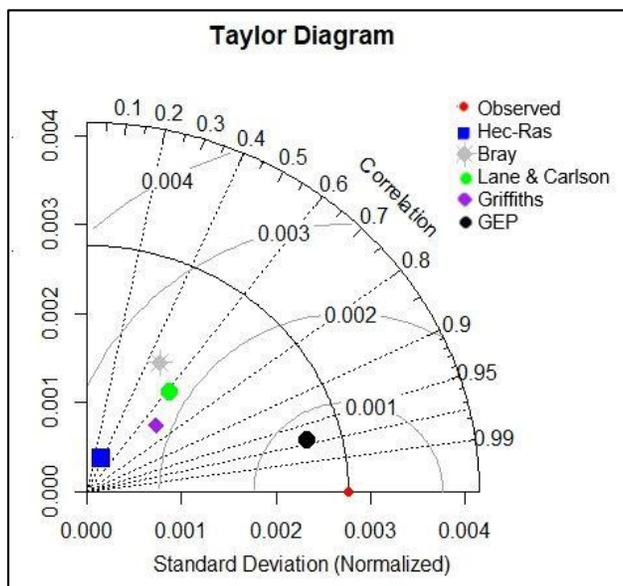
### Calibración del modelo GEP



### Criterios de desempeño

**Rendimiento en el diagrama de Taylor.** El diagrama de Taylor, que graficó el rendimiento de los modelos desarrollados en términos de correlación ( $r$ ), RMSE y desviación estándar ( $\sigma$ ), indica que GEP es el modelo de mejor rendimiento con un  $r$  de 97.5, con una desviación estándar inferior a 0.003 y un RMS inferior a 0.001.

En una misma sección del diagrama de Taylor, el desempeño de los modelos HEC-RAS, Bray (1985), Lane y Carlson (1970) y Griffiths (1981) es inferior con un  $r$  de 0.8; la  $\sigma$  es aproximadamente 0.0015 y el RMSE es inferior a 0.003. Una predicción de rugosidad no es posible con los demás modelos que no aparecen en el diagrama de Taylor. En el GEP es que el valor de la  $\sigma$  fue menor a 0.0025 en comparación con los valores observados con  $\sigma$  igual a 0.003, demostrando así, ser una función matemática con una mínima dispersión de valores.

**Figura 72***Diagrama de Taylor**Efecto económico del coeficiente de macro rugosidad fluvial*

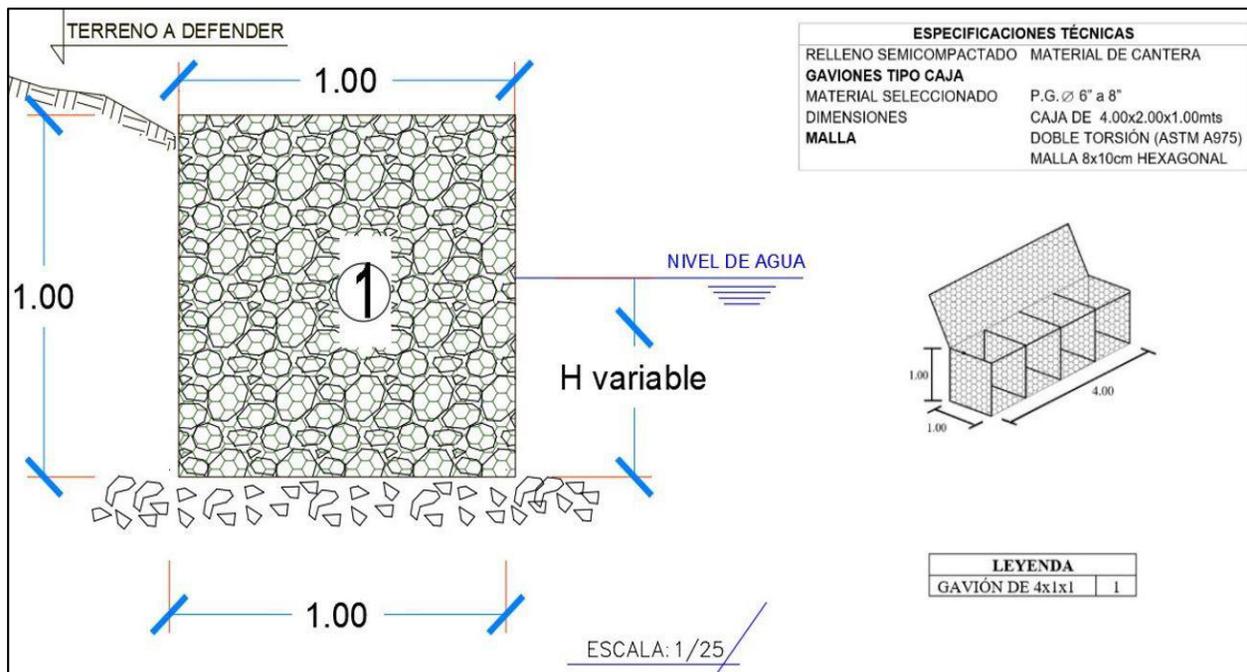
**Diseño de rugosidad  $n = 0.013$ .** El diseño de una infraestructura hidráulica como una defensa ribereña con una vida útil de 40 años el tiempo de retorno es de 140 años, se estimó con HEC-HMS un caudal máximo de  $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , con HEC-RAS se estimó un tirante hidráulico de 0.679 m se diseñó con las ecuaciones de Macra Studio, se obtuvo un borde libre de 0.204 m, una altura de 0.888 m, con dichos resultados se ejecutó un diseño hidráulico como elementos estructurales son utilizados gaviones.

**Tabla 71***Dimensionamiento hidráulico de una estructura con gaviones  $n = 0.013$ .*

Dimensiones de estructura	
Borde libre	0.204
tirante	0.679
Altura	0.888

Base

0.888

**Figura 73***Diseño de infraestructura con gavión,  $n=0.013$ .*

**Diseño de rugosidad  $n = 0.066$ .** Caudal máximo de  $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una macro rugosidad fluvial de 0.066 con los datos que se obtuvieron de HEC-RAS, un tirante hidráulico de 0.993 m se diseñó un modelo hidráulico con las ecuaciones de Macra Studio, se obtuvo un borde libre de 0.204 m, una altura de 0.888 m.

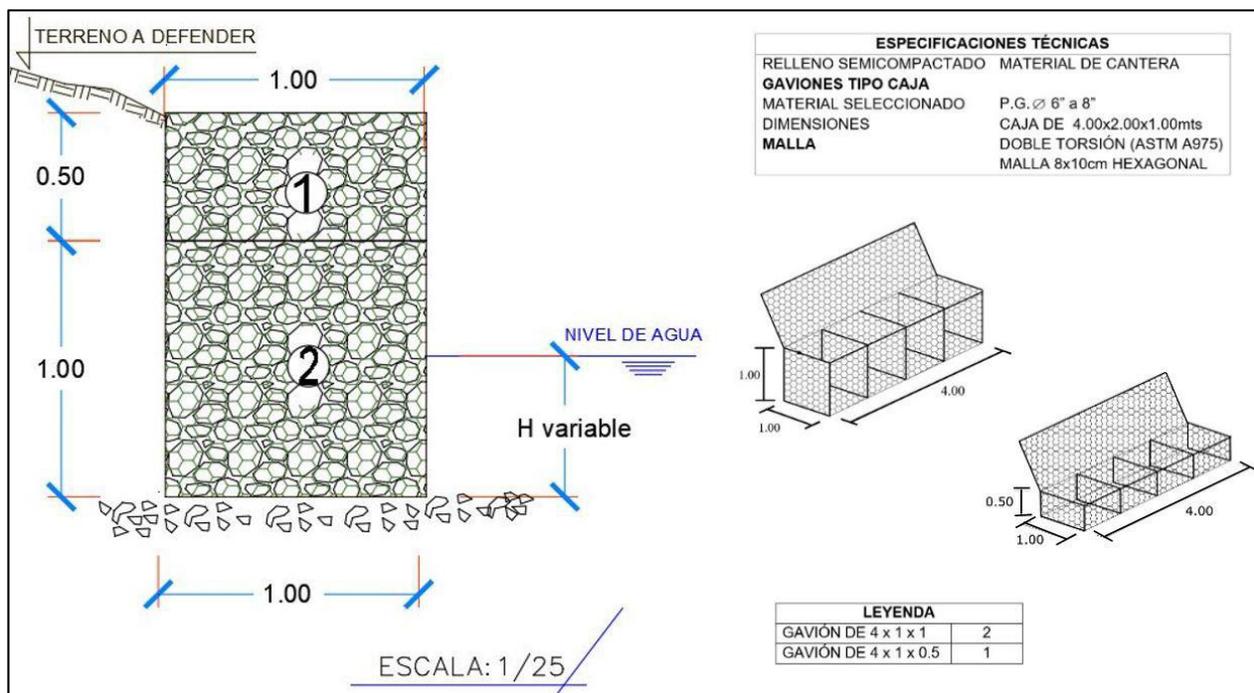
**Tabla 72***Dimensionamiento hidráulico de una estructura con gaviones,  $n = 0.066$ .*

Dimensiones de estructura	
Borde libre	0.295

tirante	0.993
Altura	1.288
Base	1.000

**Figura 74**

*Diseño de infraestructura con gavión  $n = 0.066$ .*



**Costos de diseño hidráulico con  $n = 0.013$ ,  $n = 0.066$ .** Los costos fijos de los distintos diseños hidráulicos, con los coeficientes de rugosidad de periodo seco de  $n = 0.066$ , y periodo húmedo de  $n = 0.013$ , permitieron ejecutar la valorización económica de cada diseño.

Los costos se determinaron con base en los precios unitarios obtenidos del boletín técnico de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). Se determinó el presupuesto para llevar a cabo la construcción de un tramo de 12 m de sección longitudinal del diseño del muro de gavión para  $n = 0.013$  y para  $n = 0.066$ .

**Precios de materiales de construcción.** La figura 76 muestra la descripción técnica de los gaviones con sus respectivos precios.

### Figura 75

*Costo de gavión polimac*

<b>Gaviones tors. coc,10x12, cal: 3.5mm, h=1.00 -tipo caja rec. pvc + zinc</b>		
Descripción	und	precio
Gaviones tors. Coc,10x12. Cal:3.5mm 4x1.0m triple zinc +pvc	pza	495.89
<b>Gaviones tors. coc,10x12, cal: 3.5mm, h=0.50 -tipo caja rec. pvc + zinc</b>		
Descripción	und	precio
Gaviones tors. Coc,10x12. Cal:3.5mm 4x1.0m triple zinc +pvc	pza	348.43

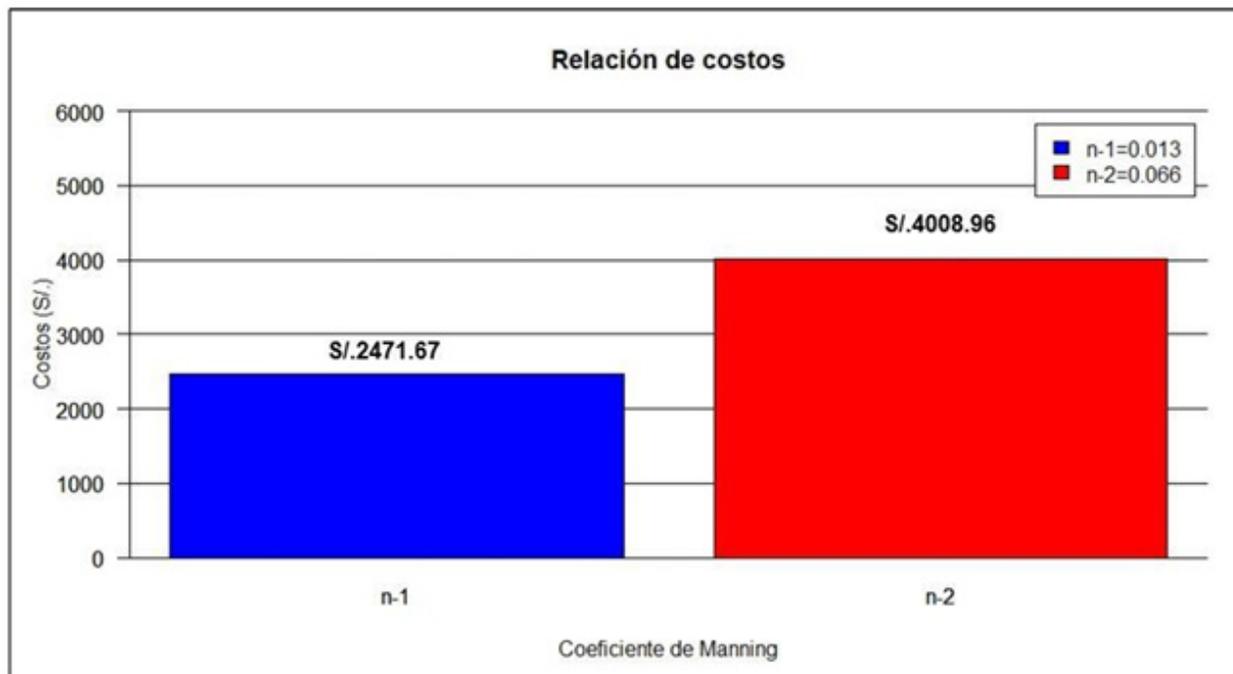
*Nota.* Boletín técnico de CAPECO, marzo 2024.

Costo de materiales, 1 m<sup>3</sup> de piedra de diámetro entre 70 - 250 mm más el 10 % de merma es 82.00 soles.

Se utilizaron pruebas de sesgo porcentual para identificar la tendencia de los datos simulados, los resultados  $n = 0.066$  presenta un incremento porcentual con respecto a  $n = 0.013$  de 62.2 %, en costos fijos.

**Figura 76**

*Relación de costos directos de gavión con diseño de  $n=0.066$ ,  $n=0.013$ .*



### ***Diseño de defensa ribereña con Gavión***

Se realizó el dimensionamiento del canal en la sección longitudinal propensa a inundaciones, en la ribera del río Collana. La zona en estudio, presenta un caudal en un tiempo de retorno de 140 años de  $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , calculado con HEC-HMS, con una pendiente promedio de río Collana de 2.0%, un coeficiente de macro rugosidad promedio de  $n = 0.0283$ , el modelamiento se realizó con el software Macra Studio de MACCAFERRI, los datos de entrada como de geometría, se colocó el talud de diseño, de la estructura, se muestran los resultados en la figura 78, en materiales se decidió por el sistema de protección MacmatR1poliMac vegetado, proporciona los resultados de la macro rugosidad fluvial promedio que es de 0.0283 resultados de Macra Studio también otorgo datos hidráulicos como velocidad de 2.57, tirante de 0.49, NF de 1.17 de orden supercrítico, perímetro mojado de 3.98 m, presentan los detalles del canal en la figura 79.

Figura 77

Diseño de canal con gavión  $n = 0.0283$

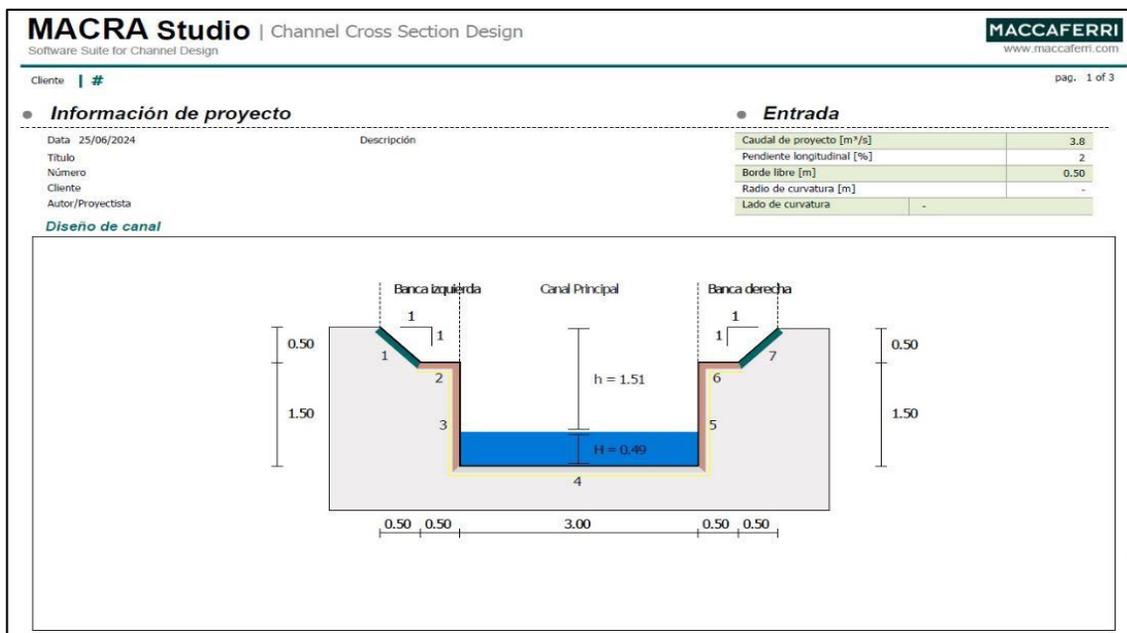
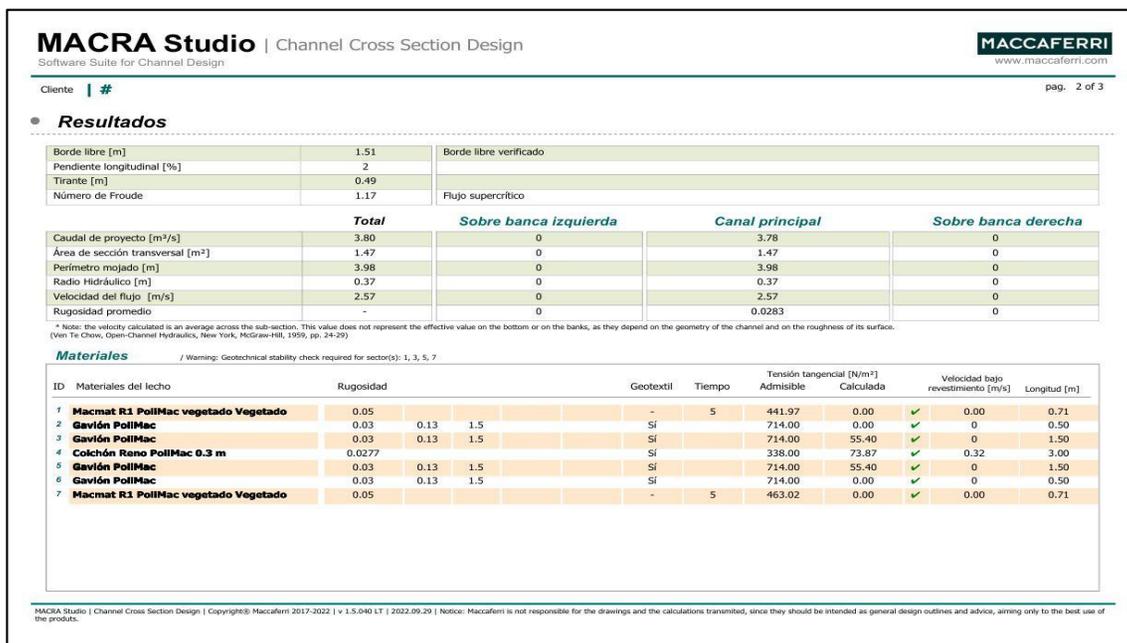


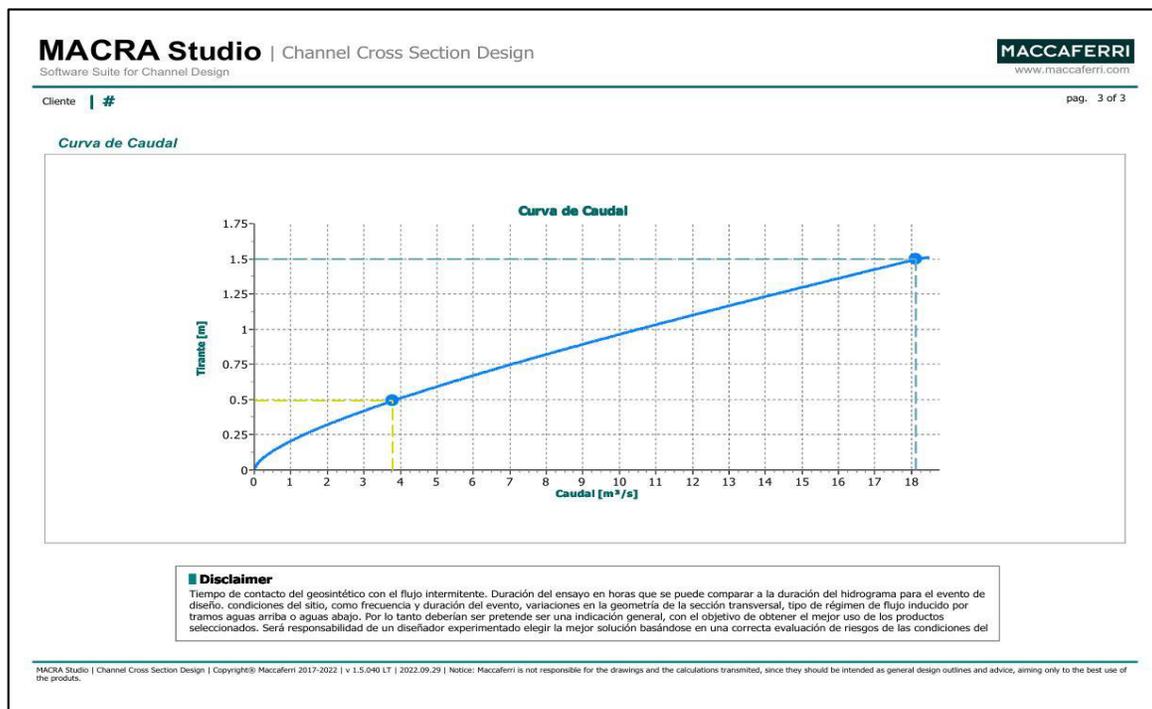
Figura 78

Resultados de parámetros hidráulicos  $n = 0.0283$



## Figura 79

Curva de caudal  $n = 0.0283$

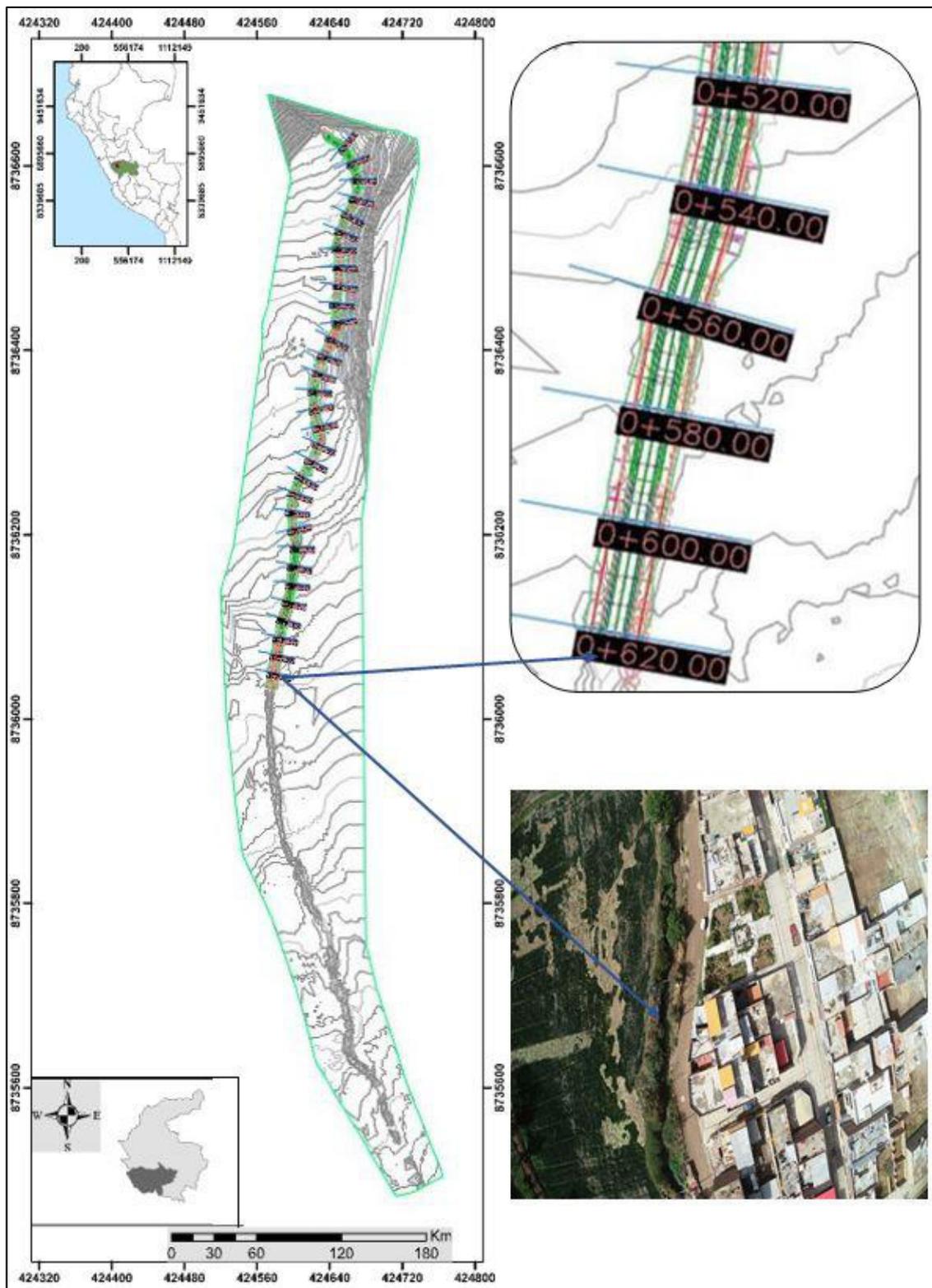


## Diseño en civil 3D

Con el diseño hidráulico realizado en Macra Studio, se realizó en Autodesk Civil 3D el diseño estructural, sobre la superficie de la zona, datos obtenidos del dron, incluidos los datos de simulación numérica de HEC-HMS y HEC-RAS se obtuvo el punto de desborde del río, se ubicó el punto de inicio, de la zona en estudio, aguas arriba en la progresión 0+620 km. Próximo al pasaje San Ignacio de Loyola, con la ubicación del punto, se realizó el trazo del eje de toda la sección afectada por el desborde, tal como se muestra en la figura 81.

Figura 80

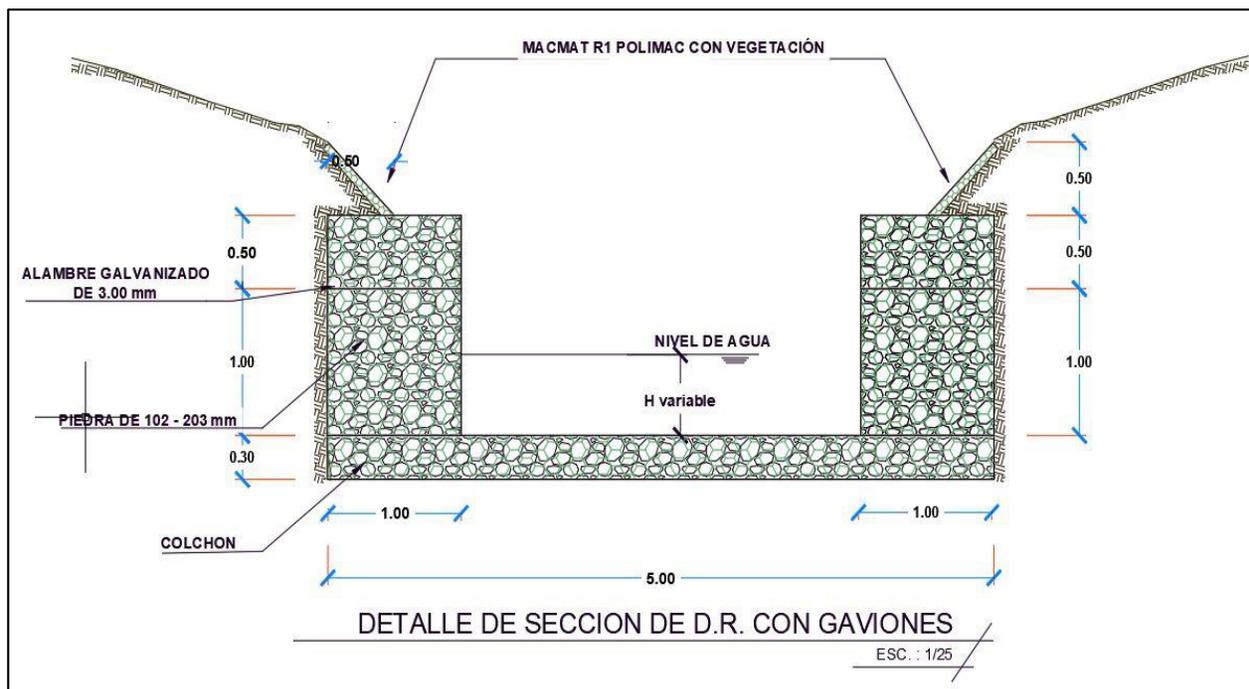
Zona de punto de inicio de inundación.



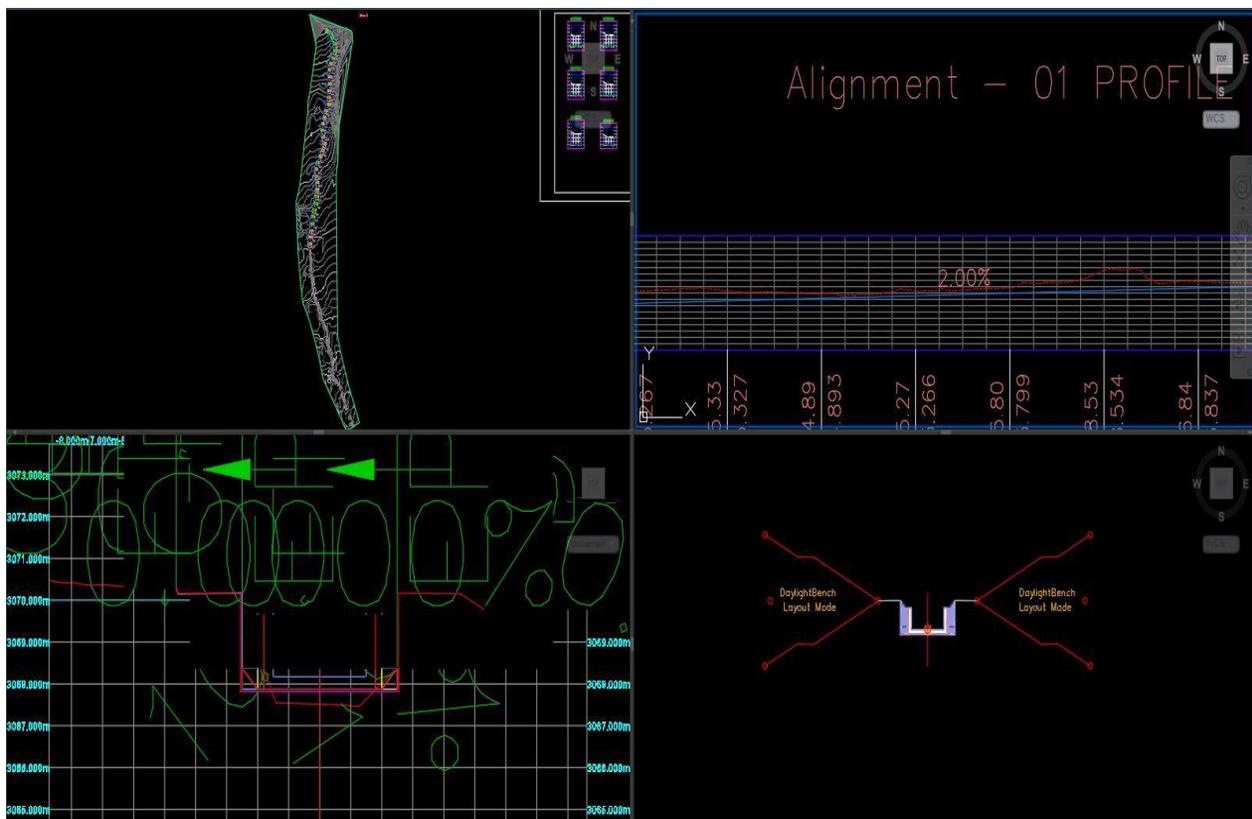
En la sección de inundación, se ejecutó el diseño hidráulico, se estableció el eje del canal, se realizó el trazado longitudinal del río, se ejecutó un assembly con las dimensiones del diseño hidráulico, de Macra Studio. El diseño se muestra en la figura 82.

### Figura 81

*Modelado de defensa ribereña en Autodesk Civil 3D.*



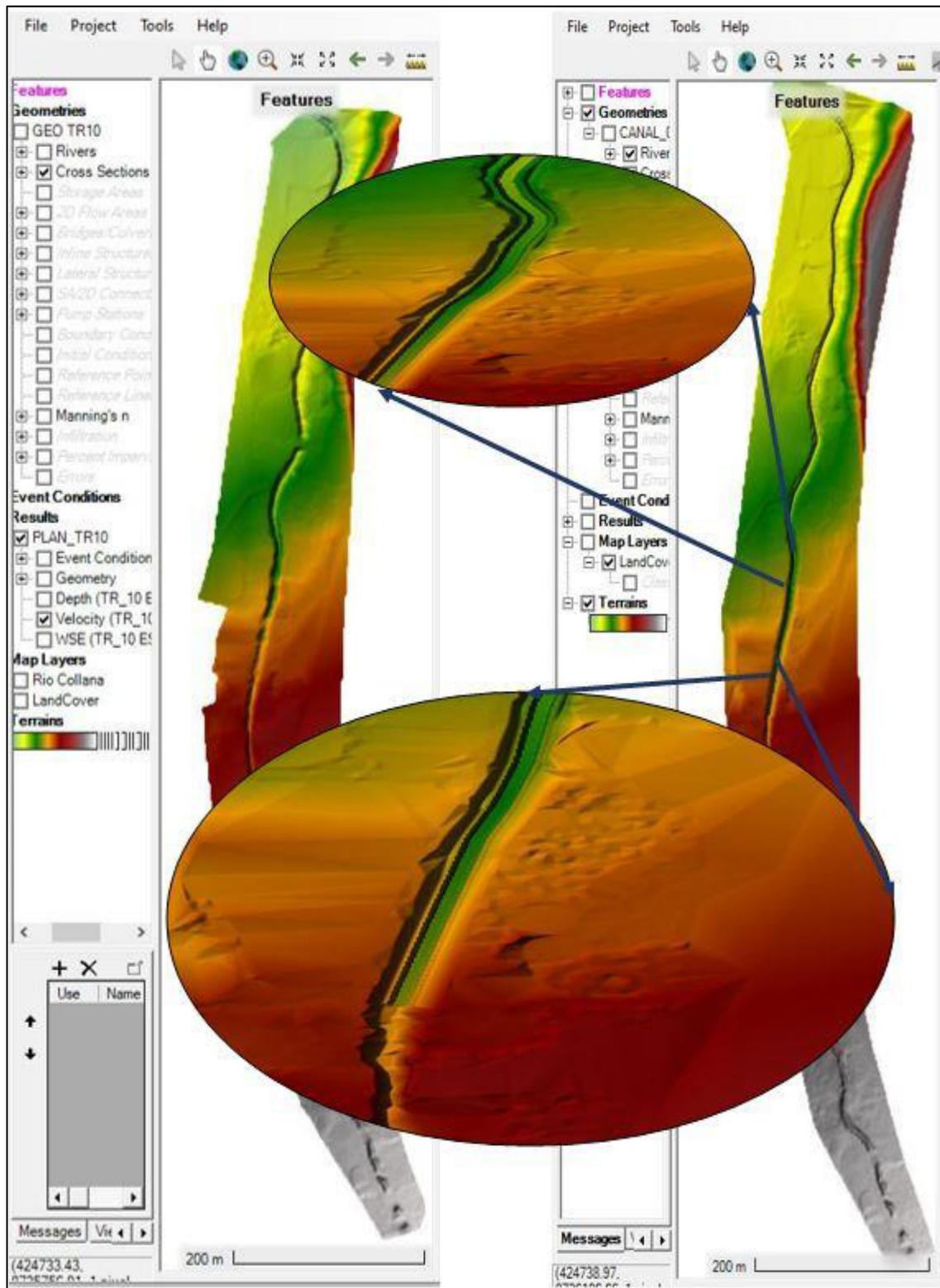
Con el assembly se creó un corredor, con la superficie de la misma se realizaron las ediciones del caso figura 83, del assembly para obtener un corredor propicio para el río Collana, se visualizó el diseño en los cortes transversales que se realizaron en la zona de inundación se creó una superficie nueva para fusionar la superficie del terreno con la del corredor, todos estos cambios se pueden visualizar en Autodesk Civil 3D, con la superficie integrada con el corredor, el siguiente paso fue generar un DEM (elevación digital del terreno), modificado con la superficie de fusión del canal de diseño.

**Figura 82***Edición de la superficie incluido el corredor****Modelo digital de elevación modificado***

El DEM modificado con el diseño hidráulico, realizado con gaviones se empleó en HEC-RAS en la interfaz de Ras Mapper, conjuntamente del Land Cover de la cobertura de suelo mixto con un coeficiente de macro rugosidad fluvial promedio de  $n = 0.0283$  en el diseño con gaviones los distintos valores de rugosidad se colocan automáticamente en su respectiva área, se dividió la zona en secciones transversales de una distancia entre sección de 20 m, se guardaron los cambios de geometría, luego se vinculó al proyecto con Edit Geometric Data, luego se ingresaron los caudales de  $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , y las pendientes del cauce con un valor de 0.020, luego se generó el plan, se computó el proceso para generar la modelación hidráulica.

Figura 83

*Detalle de zona modificada del río Collana.*



**Figura 84**

*Cobertura de suelos, valores de rugosidad de Manning.*

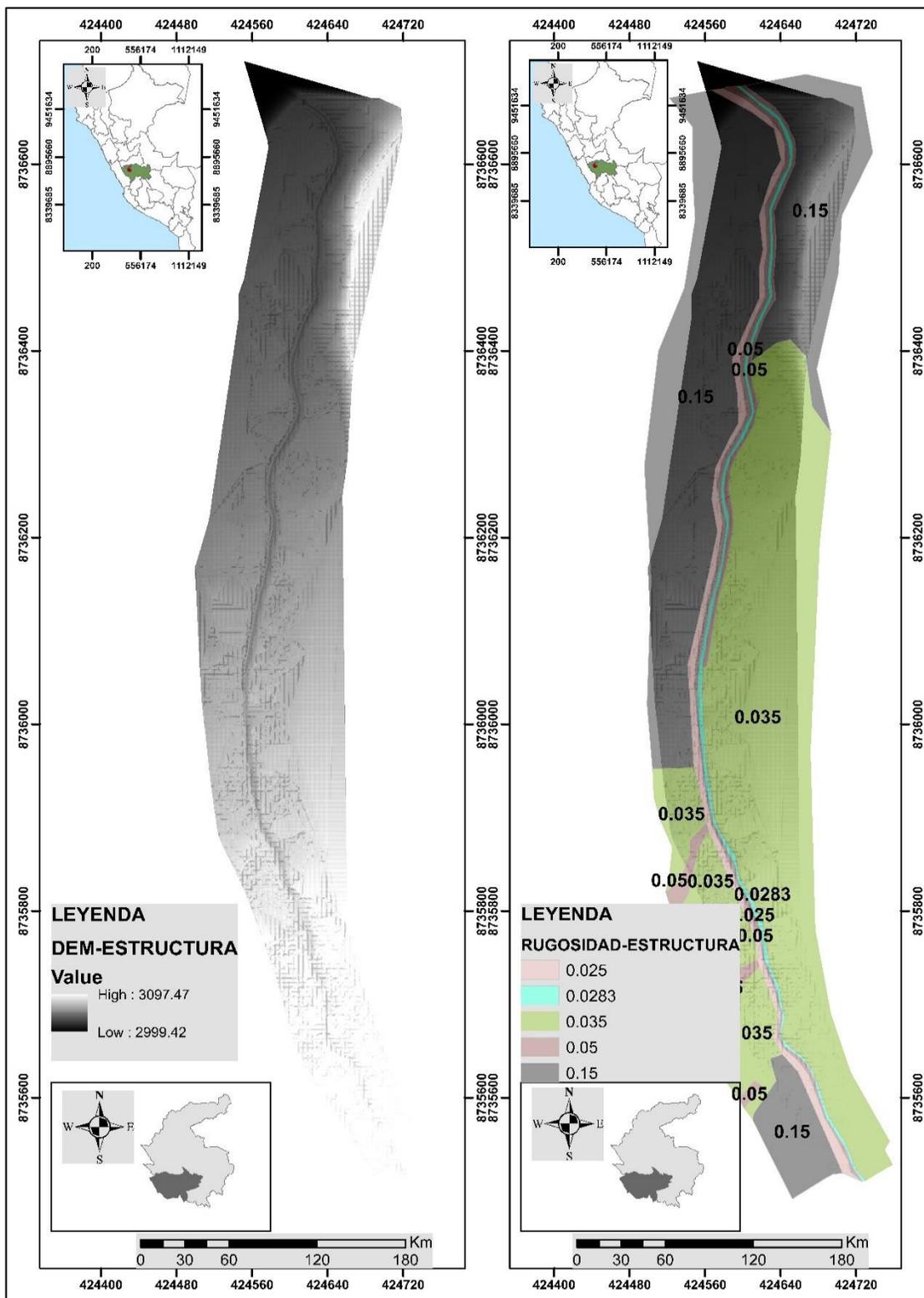


Figura 85

Resultado post procesamiento de simulación en HEC-RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

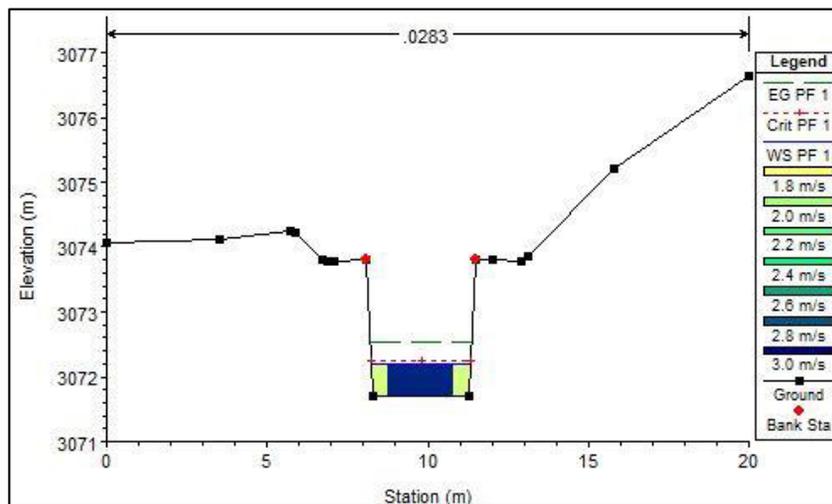
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1 Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Max Chl Dpth (m)	Mann Wtd Total
Reach 1	1120	PF 1	3.80	3092.07	3094.25	3093.09	3094.26	0.000282	0.55	6.98	6.30	0.16	2.18	0.029
Reach 1	1100	PF 1	3.80	3093.85	3094.14	3094.14	3094.24	0.012416	1.02	2.93	15.54	0.86	0.42	0.028
Reach 1	1080	PF 1	3.80	3091.30	3091.71	3092.07	3093.43	0.201544	5.81	0.65	2.41	3.56	0.40	0.030
Reach 1	1060	PF 1	3.80	3090.83	3091.62	3091.35	3091.69	0.002296	1.13	3.49	6.24	0.46	0.79	0.029
Reach 1	1040	PF 1	3.80	3090.70	3091.40	3091.40	3091.58	0.013252	1.91	1.99	5.51	1.01	0.70	0.030
Reach 1	1020	PF 1	3.80	3090.32	3091.21	3091.12	3091.34	0.007821	1.62	2.34	5.37	0.79	0.88	0.030
Reach 1	1000	PF 1	3.80	3090.31	3090.95	3090.95	3091.13	0.013563	1.88	2.02	5.73	1.01	0.64	0.030
Reach 1	980	PF 1	3.80	3089.49	3090.05	3090.23	3090.61	0.054386	3.30	1.15	3.99	1.96	0.56	0.030
Reach 1	960	PF 1	3.80	3088.86	3089.66	3089.70	3089.97	0.017241	2.48	1.53	3.12	1.13	0.80	0.030
Reach 1	940	PF 1	3.80	3088.73	3089.81	3089.34	3089.84	0.000880	0.80	4.95	7.49	0.29	1.08	0.028
Reach 1	920	PF 1	3.80	3089.23	3089.68	3089.68	3089.79	0.009931	1.54	2.75	13.02	0.87	0.45	0.025
Reach 1	900	PF 1	3.80	3088.82	3089.31	3089.36	3089.51	0.020762	1.98	1.95	8.04	1.22	0.49	0.029
Reach 1	880	PF 1	3.80	3087.16	3088.52	3088.07	3088.59	0.002263	1.19	3.19	3.89	0.42	1.36	0.030
Reach 1	860	PF 1	3.80	3087.60	3088.28	3088.28	3088.49	0.013276	2.00	1.90	4.72	1.00	0.68	0.030
Reach 1	840	PF 1	3.80	3086.43	3086.94	3087.19	3087.86	0.089608	4.27	0.91	3.39	2.49	0.51	0.028
Reach 1	820	PF 1	3.80	3085.88	3086.67	3086.72	3086.97	0.018901	2.42	1.57	3.68	1.18	0.79	0.030
Reach 1	800	PF 1	3.80	3085.23	3085.76	3085.95	3086.38	0.045193	3.48	1.09	2.68	1.74	0.52	0.030
Reach 1	780	PF 1	3.80	3084.77	3085.60	3085.60	3085.88	0.013624	2.33	1.63	3.04	1.00	0.83	0.030
Reach 1	760	PF 1	3.80	3084.50	3085.38	3085.08	3085.45	0.002620	1.17	3.24	5.02	0.47	0.87	0.030
Reach 1	740	PF 1	3.80	3084.11	3085.25		3085.37	0.005370	1.53	2.48	4.11	0.63	1.14	0.030
Reach 1	720	PF 1	3.80	3083.81	3084.91	3084.91	3085.19	0.013446	2.40	1.67	3.07	0.96	1.10	0.029
Reach 1	700	PF 1	3.80	3083.49	3084.52	3084.17	3084.59	0.002281	1.21	3.32	4.87	0.45	1.03	0.030
Reach 1	680	PF 1	3.80	3083.26	3084.20	3084.20	3084.47	0.014177	2.30	1.65	3.13	1.01	0.94	0.030
Reach 1	660	PF 1	3.80	3082.98	3083.32	3083.50	3083.93	0.060839	3.45	1.10	3.97	2.07	0.34	0.030
Reach 1	640	PF 1	3.80	3082.84	3083.42	3083.42	3083.61	0.011154	1.98	1.98	5.22	0.99	0.58	0.028
Reach 1	620	PF 1	3.80	3080.88	3081.09	3081.41	3082.84	0.263678	5.87	0.65	3.14	4.13	0.21	0.028
Reach 1	600	PF 1	3.80	3080.48	3080.94	3081.02	3081.32	0.023425	2.72	1.40	3.09	1.29	0.46	0.028
Reach 1	580	PF 1	3.80	3080.09	3080.60	3080.63	3080.90	0.016597	2.42	1.57	3.10	1.09	0.51	0.028
Reach 1	560	PF 1	3.80	3079.69	3080.14	3080.22	3080.51	0.023245	2.69	1.41	3.19	1.29	0.45	0.028
Reach 1	540	PF 1	3.80	3079.29	3079.81	3079.83	3080.10	0.016339	2.41	1.58	3.12	1.08	0.51	0.028
Reach 1	520	PF 1	3.80	3078.89	3079.39	3079.45	3079.73	0.020239	2.61	1.46	2.96	1.19	0.50	0.028
Reach 1	500	PF 1	3.80	3078.49	3078.96	3079.03	3079.32	0.021325	2.64	1.44	3.09	1.23	0.47	0.028
Reach 1	480	PF 1	3.80	3078.09	3078.58	3078.63	3078.91	0.019045	2.54	1.50	3.09	1.16	0.49	0.028
Reach 1	460	PF 1	3.80	3077.70	3078.17	3078.23	3078.51	0.020818	2.59	1.46	3.19	1.22	0.47	0.028
Reach 1	440	PF 1	3.80	3077.29	3077.79	3077.84	3078.11	0.018204	2.50	1.52	3.10	1.14	0.50	0.028
Reach 1	420	PF 1	3.80	3076.89	3077.32	3077.41	3077.69	0.023856	2.69	1.41	3.28	1.31	0.44	0.028
Reach 1	400	PF 1	3.80	3076.49	3077.01	3077.02	3077.29	0.015346	2.36	1.61	3.19	1.06	0.52	0.028
Reach 1	380	PF 1	3.80	3076.09	3076.56	3076.64	3076.92	0.021640	2.66	1.43	3.15	1.26	0.47	0.028
Reach 1	360	PF 1	3.80	3075.69	3076.17	3076.22	3076.50	0.019401	2.53	1.50	3.18	1.18	0.48	0.028
Reach 1	340	PF 1	3.80	3075.29	3075.78	3075.84	3076.12	0.019382	2.55	1.49	3.09	1.18	0.49	0.028
Reach 1	320	PF 1	3.80	3074.90	3075.38	3075.44	3075.72	0.020094	2.58	1.47	3.11	1.20	0.48	0.028
Reach 1	300	PF 1	3.80	3074.49	3074.98	3075.04	3075.32	0.020122	2.58	1.47	3.09	1.20	0.49	0.028
Reach 1	280	PF 1	3.80	3074.09	3074.61	3074.65	3074.93	0.018226	2.51	1.52	3.06	1.14	0.52	0.028
Reach 1	260	PF 1	3.80	3073.70	3074.17	3074.24	3074.53	0.021699	2.65	1.43	3.09	1.24	0.47	0.028
Reach 1	240	PF 1	3.80	3073.30	3073.80	3073.84	3074.12	0.018408	2.52	1.51	3.10	1.16	0.50	0.028
Reach 1	220	PF 1	3.80	3072.90	3073.39	3073.45	3073.73	0.020546	2.60	1.46	3.09	1.21	0.49	0.028
Reach 1	200	PF 1	3.80	3072.50	3072.98	3073.04	3073.32	0.020213	2.59	1.47	3.09	1.20	0.48	0.028
Reach 1	180	PF 1	3.80	3072.10	3072.59	3072.64	3072.92	0.019873	2.57	1.48	3.09	1.19	0.48	0.028
Reach 1	160	PF 1	3.80	3071.70	3072.19	3072.24	3072.52	0.019879	2.57	1.48	3.09	1.19	0.48	0.028
Reach 1	140	PF 1	3.80	3071.30	3071.77	3071.84	3072.12	0.020927	2.60	1.46	3.19	1.23	0.47	0.028
Reach 1	120	PF 1	3.80	3070.91	3071.44	3071.47	3071.74	0.015957	2.41	1.58	3.00	1.06	0.53	0.028
Reach 1	100	PF 1	3.80	3070.51	3070.99	3071.07	3071.36	0.022210	2.69	1.41	3.04	1.26	0.48	0.028
Reach 1	80	PF 1	3.80	3070.11	3070.61	3070.66	3070.94	0.018892	2.55	1.49	3.08	1.17	0.50	0.028
Reach 1	60	PF 1	3.80	3069.71	3070.19	3070.26	3070.54	0.020920	2.62	1.45	3.09	1.22	0.48	0.028
Reach 1	40	PF 1	3.80	3069.31	3069.82	3069.86	3070.14	0.018163	2.52	1.51	3.06	1.14	0.51	0.028

La sección del diseño hidráulico con la rugosidad promedio de gavión, el software HEC-RAS, el tramo que inició en la progresiva 0 + 000 km hasta el tramo 0 + 620 km, los resultados fueron: la velocidad promedio es de 2.57 m/s, el tirante promedio de la sección es 0.487 m.

### Figura 86

*Sección modificada con referencia del diseño hidráulico  $n = 0.0283$ .*



La evaluación de los resultados obtenidos por HEC-RAS con los valores de Macra Studio se enseña en la tabla 72 donde presenta un error absoluto similar a cero, presentando ambos programas un buen grado de precisión.

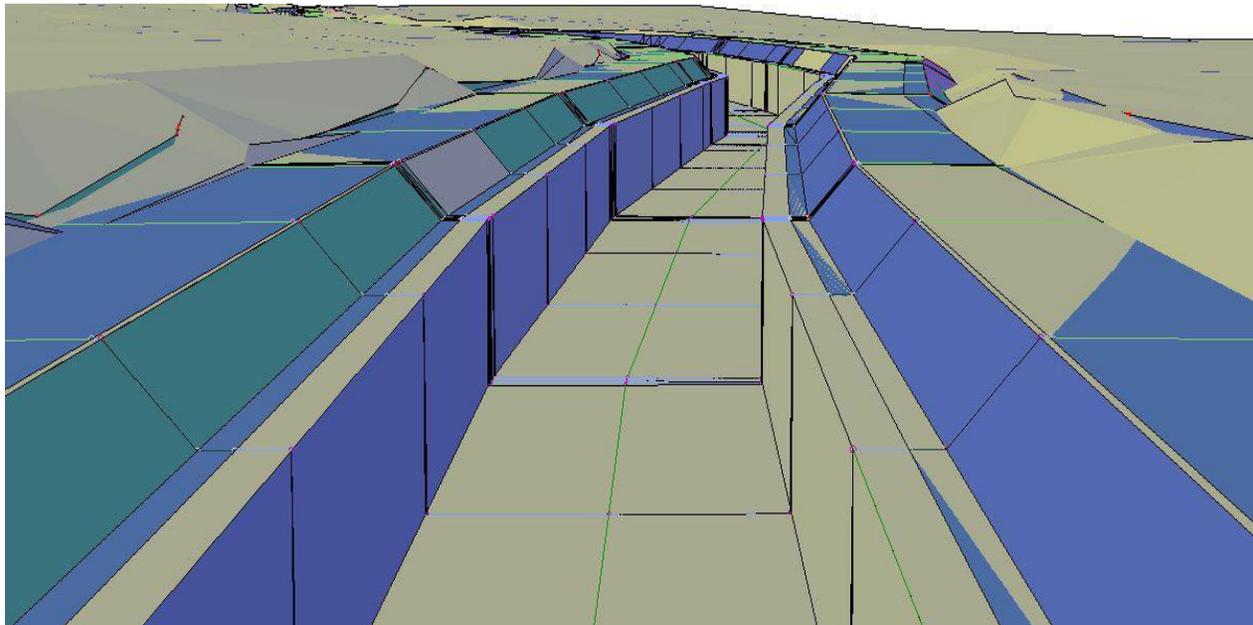
### Tabla 73

*Evaluación de los modelos Macra Studio, HEC-RAS.*

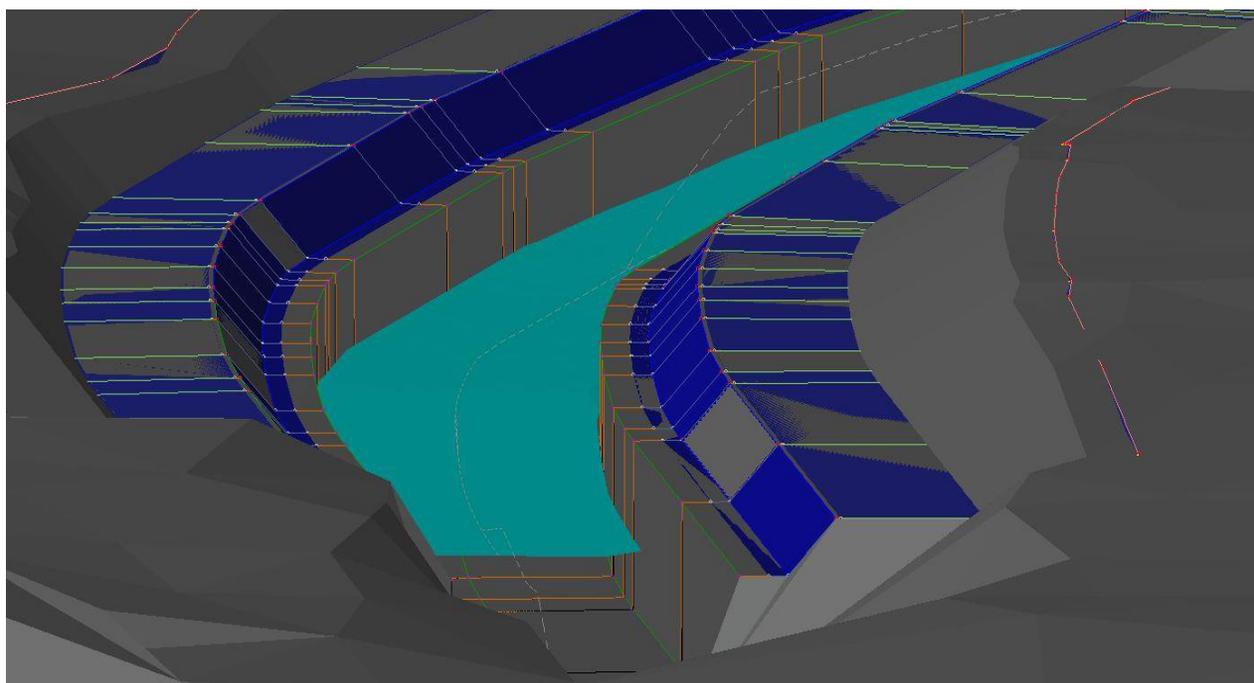
Precisión de los modelos			
Modelos	Velocidad (m/s)	Tirante(m)	Error Absoluto
Macra Studio	2.57	0.49	0
HEC-RAS	2.57	0.49	0

**Figura 87**

*Diseño hidráulico del río Collana en Autodesk Civil 3D*

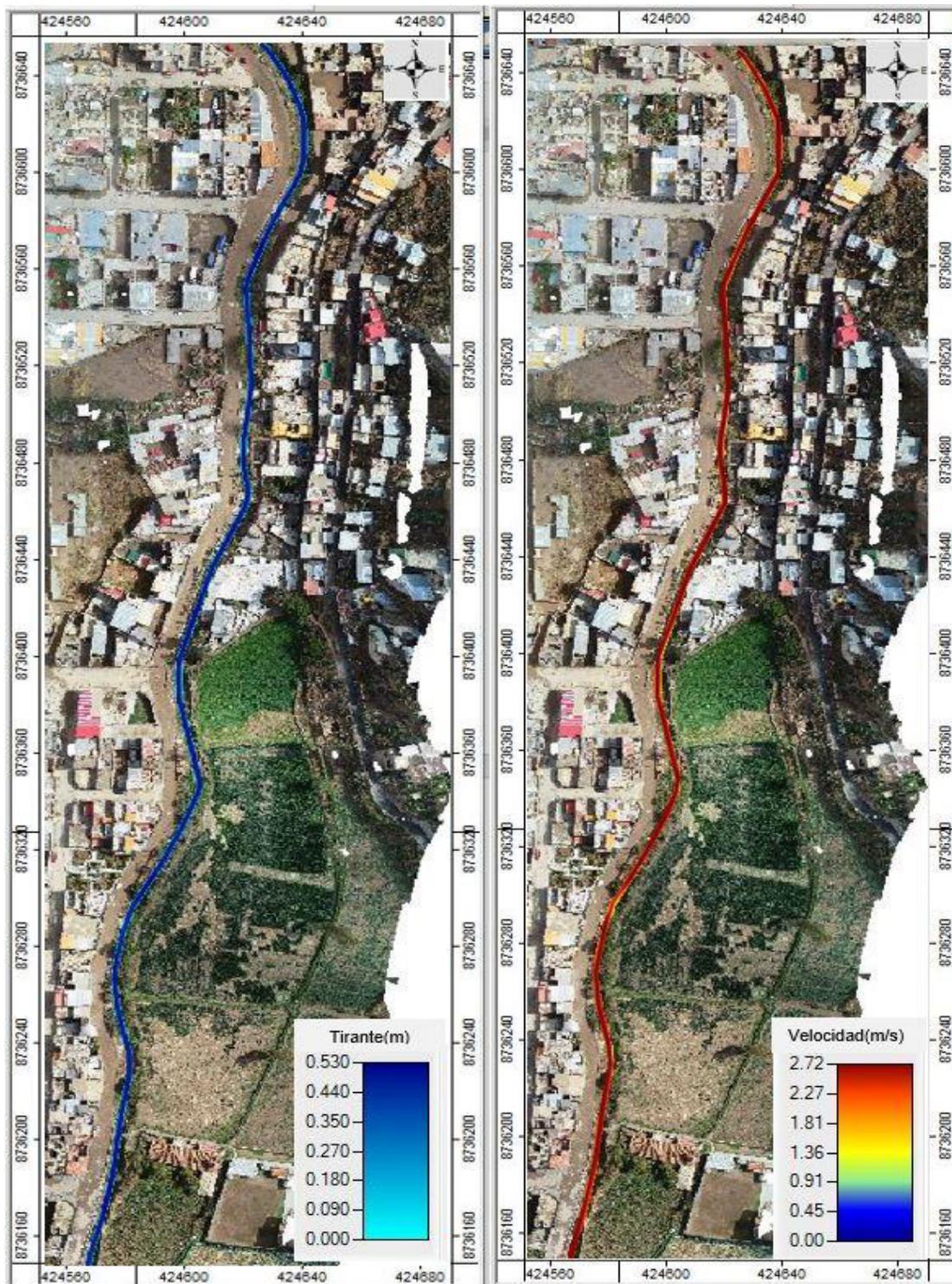
**Figura 88**

*Diseño con gavión, con flujo del río Collana*



**Figura 89**

*Zona de estudio con  $Tr = 140$  años, con diseño hidráulico de canal.*



## Conclusiones

Se determinaron los parámetros morfométricos con un área de 163.27 km<sup>2</sup>, pendiente del río de 0.022 m/m longitud del río. De acuerdo al análisis del método de Gauss para las 20 ecuaciones del tiempo de concentración se registró un valor promedio de 1.116 horas. Mientras tanto, el modelo hidrológico discretizado que más se ajustó fue SCS en el HEC-HMS y reflejó máximas avenidas desde 2.3 m<sup>3</sup>/s hasta 4.8 m<sup>3</sup>/s para los diferentes tiempos de retorno evaluados desde 2 años hasta 200 años.

La modelación hidráulica se planteó sobre el programa numérico HEC-RAS en el formato unidimensional y bidimensional para alcanzar mayor precisión de análisis y visualización del efecto de la macro rugosidad en los mapas de inundación. En primer lugar, se deduce que las dieciocho fórmulas semiempíricas empleadas su  $R^2 = 0.48$ , siendo Griffiths (1981) el de mayor valor del coeficiente de determinación = 0.47, presentando un valor lejos de la unidad, no calificando la ecuación para el río Collana. En segundo lugar, La macro rugosidad se calibró con éxito en el modelo HEC-RAS, para un promedio de 0,030 y un  $R^2$  de 0.926 en relación con el tirante observado, con un desempeño de RMES = 0.044, MAE = 0.024, MAPE = 0.044 por lo que el ajuste es considerado como bueno, su valor se encuentra próximo al cero.

Se alcanzó en el modelo GEP que la macro rugosidad fue de 0.0295 y a su vez se alcanzó una ecuación lineal para estimar el coeficiente de Manning en ríos de montaña con una precisión de 0.941, con un desempeño de RMES = .06, MAE = 0.02, MAPE = 0.07 valores dados en porcentaje por lo que el ajuste es considerado como bueno, su valor se encuentra próximo al cero, Sin embargo, su uso es de sumo cuidado cuando se tienen escasos datos de la hidrodinámica del sistema fluvial.

El modelo de predicción ideal del coeficiente de Manning, según el análisis de sensibilidad en el diagrama de Taylor demostró que el de mejor ajuste fue GEP es más efectivo, porque sus valores estimados fueron los más cerca a la realidad con un error menor del 5% en la predicción del coeficiente de macro rugosidad.

El efecto económico del manejo de distintos valores de macro rugosidad en el diseño hidráulico de  $n = 0.066$  con respecto a  $n = 0.013$  presentó un incremento del 77% en el tirante, disminución de velocidad en 134%, el número de Froude en  $n = 0.066$  es clasificado como subcrítico, en  $n = 0.013$  clasificado como supercrítico, los resultados influyen en el incremento porcentual de costos fijos con un valor de 62.2%.

## **Recomendaciones**

Al tomar datos hidrológicos e hidráulicos del lecho del río, tener el debido recaudo en la manipulación de los mismos, datos con error más del 5% generaría dimensionamientos erróneos.

En futuras investigaciones se recomienda sumar la inteligencia artificial, como un modelo de estimación con la finalidad de disminuir el grado de incertidumbre para hallar la macro rugosidad.

Se recomienda a los ingenieros en la rama de ciencias de río, del proyecto la utilización con mucha precaución de las fórmulas empíricas producto del grado de incertidumbre que esta genera y en caso de su utilización la calibración respectiva.

Para futuras investigaciones, englobar otros estudios de ríos de montañas, así como de llanuras y reflejar con mayor exactitud la diferencia en cuanto a la macro rugosidad.

Se recomienda la utilización de modelos numérico, en particular HEC-RAS para calibrar y validar la macro rugosidad, porque el uso de la misma se puede ejecutar con escasa base de datos, mientras que el programa GeneXproTools solo es viable cuando se tiene una base de datos suficiente para estimar la macro rugosidad en el río.

## Referencias Bibliográficas

- Abreu, J. (2012a). Constructos, Variables, Dimensiones, Indicadores & Congruencia (Constructs, Variables, Dimensions, Indicators & Consistency). *Spentamexico.Org*, 7(3), 123–130.  
[http://www.spentamexico.org/v7-n3/7\(3\)123-130.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n3/7(3)123-130.pdf)
- Abreu, J. (2012b). Hipótesis, método & diseño de investigación (hypothesis, method & research design). *Spentamexico.Org*, 7(2), 187–197. [http://www.spentamexico.org/v7-n2/7\(2\)187-197.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n2/7(2)187-197.pdf)
- Agresta, A., Baioletti, M., Biscarini, C., Caraffini, F., Milani, A., & Santucci, V. (2021). Using Optimisation Meta-Heuristics for the Roughness Estimation Problem in River Flow Analysis. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 10575, 11(22), 10575.  
<https://doi.org/10.3390/APP112210575>
- Aguirre, J., Olivero, M. L., & Moncada, A. T. (2000). Transporte de sedimentos en cauces de alta pendiente. *Ingeniería Del Agua*. <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2851>
- Al-Husseini, T. R. (2015). Estimation of Manning’s roughness coefficient for Al-Diwaniya River. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 19(4), 170–184.  
<https://jeasd.uomustansiriyah.edu.iq/index.php/jeasd/article/view/750>
- Álvarez, J., Ríos, I., & Martínez, E. (2019). Análisis comparativo de variables e indicadores empleados para evaluar calidad en las universidades. *Scielo.Sld.Cu*, 19(2), 405–425.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1727-81202019000200405&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1727-81202019000200405&script=sci_arttext)
- ANA. (2016). *PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES | SINIA*.  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>

- Andrés, M., Mora, C., Va, C., & Llerena, N. (2010). Efecto de las Extracciones en los Ríos de Puerto Rico. *Civil Engineering*. <https://prcrepository.org/handle/20.500.12475/990>
- Aparicio, F. (2018). *Fundamentos de hidrología de superficie*.  
<https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/84864>
- Arcement, G., & Schneider, V. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. *US Geological Survey*.  
<https://doi.org/doi.org/10.3133/wsp2339>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *CRITERIOS DE DISEÑOS DE OBRAS HIDRAULICAS PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS HIDRAULICOS MULTISECTORIALES Y DE AFIANZAMIENTO HIDRICO*.  
[https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)
- Ávila, G. S. (2002). *Hidráulica de canales* (Universidad Nacional Autónoma de México, Ed.).  
[https://www.academia.edu/download/59771940/Hidraulica\\_de\\_Canales\\_-\\_Gilberto\\_Sotelo\\_Avila\\_noPW20190617-65527-rkcrn7.pdf](https://www.academia.edu/download/59771940/Hidraulica_de_Canales_-_Gilberto_Sotelo_Avila_noPW20190617-65527-rkcrn7.pdf)
- Bathurst, J. C. (1985). Flow resistance estimation in mountain rivers. *Journal of the Hydraulics Division*, 111, 625–643. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:4\(625\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:4(625))
- Bathurst, J. C. (2002). At-a-site variation and minimum flow resistance for mountain rivers. *Journal of Hydrology*, 269(1–2), 11–26.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169402001919>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Elsevier*.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

- Bray, D. I. (1979). Estimating Average Velocity in Gravel-Bed Rivers. *Journal of the Hydraulics Division, 105*, 1103–1122.
- Bray DI. (1982). *Flow resistance in gravel-bed rivers*. In Hey RD, Bathurst JC, Thorne CR (Gravel-bed Rivers. Chichester, Ed.).
- Brownlie, W. (1983). Flow Depth in Sand-Bed Channels. *Journal of Hydraulic Engineering, 109*(7), 959–990. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1983\)109:7\(959\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:7(959))
- Bruschin, J. (1982). Flow resistance in coarse gravel bed rivers, discussion - Google Académico. *Journal of the Hydraulics Division, 618–619*.  
[https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Flow+resistance+in+coarse+gravel+bed+rivers%2C+discussion&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Flow+resistance+in+coarse+gravel+bed+rivers%2C+discussion&btnG=)
- Burgos, T. I. (2018). *FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL* [Universidad de Talca].  
[http://desarrollo.otalca.cl/temporal/ctha/Docs/pdf/Publicaciones/tesis\\_de\\_grado/TesisTomasburgos2018.pdf](http://desarrollo.otalca.cl/temporal/ctha/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/TesisTomasburgos2018.pdf)
- Burrill, G., & Biehler, R. (2011). Fundamental statistical ideas in the school curriculum and in training teachers. *Springer, 14*, 57–69. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1131-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1131-0_10)
- Cabrera, J. (2012). Calibración de modelos hidrológicos. *Instituto Para La Mitigación de Los Efectos Del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil*. [https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_2.pdf](https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf)
- Camacho, C., López, A., & Arías, M. (2006). Regresión lineal simple. *Personal.Us.Es*.  
<http://personal.us.es/vararey/regresion-simple.pdf>
- Caro, C., Pacheco, O, & Sánchez, H. (2019). Calibration of Manning's roughness in non-instrumented rural basins using a distributed hydrological model. *Scielo.Org.CoCA Caro-*

*Camargo, OF Pacheco-Merchán, HP Sánchez-Tueros* Dyna, 2019 • *scielo.Org.Co.*

<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.72506>

Castañé, P. M., Sánchez, A., & Salibián, A. (2015). Water quality of the Luján river, a lowland watercourse near the metropolitan area of Buenos Aires (Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(10), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S10661-015-4882-Y/METRICS>

Cataño, S., & Vélez, J. (2016). Modelo conceptual agregado de transporte de sedimentos para cuencas de montaña en Antioquia-Colombia. *Scielo.Org.Co.*

<https://doi.org/10.15446/rbct.n39.52888>

Chambi, S. V., & Juárez, S. N. (2018). *Peligro por erosión fluvial en los sectores La Perla y Cantagallo–Chosica (distrito Lurigancho-Chosica, provincia y región Lima).*

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1203>

*China: colapso de puente causa once muertos tras la caída al río de 25 vehículos | RPP Noticias.*

(n.d.). Retrieved November 25, 2024, from <https://rpp.pe/mundo/china/china-colapso-de-puente-causa-ocho-muertos-tras-la-caida-al-rio-de-25-vehiculos-noticia-1570875>

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (McGraw-Hill Intera, Ed.).

Cinchay, E. (2021). *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* [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5294>

Constain-Aragón, A., de correspondencia, A., Villa, P., & Andrés Bastidas, G. (2013). Nuevo método para determinar la longitud de mezcla en flujos turbulentos. *Tecnología y Ciencias*

- Del Agua*, 4(4), 63–76. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Cowan, W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agr. Eng.*, 37, 473–475.
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, V., Carrillo, G., & Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Sedici.Unlp.Edu.Ar*.  
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66784>
- Dawson, F. H., & Robinson, W. N. (1984). Submerged macrophytes and the hydraulic roughness of a lowland chalkstream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*
- De Doncker, L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., & Quintelier, J. (2009). Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. *Environmental Fluid Mechanics*, 9(5), 549–567.  
<https://doi.org/10.1007/S10652-009-9149-0>
- De, J., Alfonso, J., & Junco, F. (2004). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS: CASO DE ESTUDIO DEL PARQUE NACIONAL. [https://www.agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](https://www.agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
- Dezetter, A., Serrano, V., Watson, F., Guzmán, I., Chavarría, L., & Quesada, F. (2022). Correction of empirical equations known as “Strickler-type” for the calculation of the Manning’s roughness coefficient for Costa Rica’s Northern Pacific conditions. *Mdpi.Com*.  
<https://doi.org/10.3390/hydrology9050071>
- 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, Áncash, Perú. *Revista Ingeniería*. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n3/art07.pdf>

- Dimitriadis, Panayiotis, Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., & Efstratiadis, A. (2016). “Comparative Evaluation of 1d and Quasi-2d Hydraulic Models Based on Benchmark and Real-World Applications for Uncertainty Assessment in Flood Mapping. *Journal of Hydrology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020>
- Ding, Y., Jia, Y., & Wang, S. S. Y. (2004). Identification of Manning’s Roughness Coefficients in Shallow Water Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(6), 501–510.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2004\)130:6\(501\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:6(501))
- Fard, R. S., Heidarnejad, M., & Zohrabi, N. (2013). Study factors influencing the hydraulic roughness coefficient of the Karun river (Iran). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 22(2), 976–981. <http://ijfas.com/wp-content/uploads/2013/11/976-981.pdf>
- Ferguson, R. (2007). Flow resistance equations for gravel- and boulder bed streams. *Water Resour. Res.*, 43.
- Ferguson, R. (2010). Time to Abandon the Manning Equation? *Earth Surface Processes and Landforms* 35. <https://doi.org/10.1002/esp.2091>
- Fernández, C., León, A., Rodríguez, Y., Martínez, P., & Meneses, D. (2018). Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del río Yanuncay en Cuenca. *Hidráulica y Ambiental*, 2020•*scielo.Sld.Cu*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382020000100115&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382020000100115&script=sci_arttext&tlng=pt)
- 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. *Revistas.Usac.Edu.Gt*. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1410>

- Fernández, León, A., Rodríguez, Y., Martínez, P., & Meneses, D. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. *Scielo.Sld.Cu*, 39(1), 17–31. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000100002&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000100002&script=sci_arttext)
- Ferreira, C. (2006). *Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence* (Springer, Ed.; Vol. 21).  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NkG7BQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Gene+Expression+Programming:+Mathematical+Modeling+by+an+Artificial+Intelligence&ots=Y-krBEZpB-&sig=osmB7LpqHmtDc7fy3BV6Z1g5HUU>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Besteiro, S., & Delgado, M. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25777>
- González, J., Fortis, M., Preciadol, P., Yescas, P., Barrios, J., Reyes, A., González, J., Fortis, M., Preciado, P., Yescas, P., Barrios, J., & Reyes, A. (2021). Ecuación determinística para el diseño hidráulico de sistemas de riego por salidas múltiples. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 777–789. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V12I5.2986>
- González, & Sánchez, J. (2012). Análisis de variables e indicadores empleados para medir la sociedad de la información. *SciELO Chile*. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000300017&script=sci\\_arttext&tIng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000300017&script=sci_arttext&tIng=pt)
- Griffiths GA. (1981). Flow resistance in coarse gravel bed rivers. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of the Hydraulics Division*.
- Gualpa, M., Célleri, R., & Crespo, P. (2022). Efecto del coeficiente teórico de descarga de vertederos sobre la medición de caudales en pequeños ríos Andinos. *Scielo.Senescyt.Gob.Ec*. <https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.06>

- Guevara, R., Olgún, J., Mancilla, O., & Barreto, O. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río ayuquila, jalisco-méxico. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, ISSN-e 1578-5157, N°. 24, 2019, 24(24), 9. <https://doi.org/10.21138/GF.622>
- Harris, J., Reveco, C., & Guerra, F. (2023). *Gobernanza climática y respuestas locales al cambio climático*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147912>
- Hicks, F. E., & Peacock, T. (2013). Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. *Canadian Water Resources Journal*, 30(2), 159–174. <https://doi.org/10.4296/cwrj3002159>
- Horton, R. (1945a). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. In *Geological society of America bulletin* (Ed.), *pubs.geoscienceworld.org* (Vol. 56). [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56) [275: EDOSAT]2.0.CO;22
- Horton, R. (1945b). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America*, 56, 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56) [275: EDOSAT]2.0.CO;2
- INDECI. (2023). *Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local)*. CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL.
- Ivancich, H., & Martínez, G. (2011). Modelos forzados y no forzados para el cálculo del índice de sitio en bosques de *Nothofagus antarctica* en Patagonia Sur. *SciELO Chile*, 32(2), 135–145. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000200004>
- Jarrett, R. D. (1984). Hydraulics of high-gradient rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(11), 1519–1539. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:11\(1519\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:11(1519))
- Jarrett RD. (1984). Hydraulics of high gradient streams. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*.

- Jiménez, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Scielo.Org.Mx*, 6(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222015000300003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222015000300003&script=sci_arttext)
- Julien, P., & Tuzson, J. (2003). River Mechanics. *Applied Mechanics Reviews*, 56(2), B30–B31. <https://doi.org/10.1115/1.1553449>
- Kilania, S., & Chahar, B. (2019). A dam break analysis using HeC-RAs. *World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2019*, 382–389. <https://doi.org/10.1061/9780784482353.036>
- Kim, J., Lee, C., & Kim, W. (2010). Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed river. *Water Science and Engineering*, 3(2), 217–232. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.02.010>
- Kim, J., Lee, C., Kim, W., Engineering, Y. K.-W. S. and, & 2010, undefined. (2010). Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed river. *ElsevierJS Kim, CJ Lee, W Kim, YJ KimWater Science and Engineering, 2010•Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674237015301149>
- Lacey G. (1946). A theory of flow in alluvium. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 16–47.
- Lane, E. W., & Carlson, E. J. (1953). Some factors affecting the stability of canals constructed... - Google Académico. *Minnesota International Hydraulic Convention*, 37–48. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Some+factors+affecting+the+stability+of+canals+constructed+in+coarse+granular+materials&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Some+factors+affecting+the+stability+of+canals+constructed+in+coarse+granular+materials&btnG=)

- Lang, S., Ladson, T., & Anderson, B. (2004). A review of empirical equations for estimating stream roughness and their application to four streams in Victoria. *Australasian Journal of Water Resources*, 8(1), 69–82. <https://doi.org/10.1080/13241583.2004.11465245>
- Lee, J., Oh, G., Park, Y., & Jung, J. H. (2012). Determination of Relationships for Manning Roughness Coefficient Using Hydraulic Engineering Field. *Journal of the Korean Society*, 12(1), 167–178. <http://www.j-kosham.or.kr/journal/view.php?number=6509>
- Limerinos JT. (1970). Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels. *U.S. Geological Survey Journal of Research* .
- Machado, A., & Sotolongo, D. (2023). Impacto del cambio climático en la hidrología de regiones criohidrológicas: una revisión sistemática. *JOURNAL OF SCIENTIFIC METRICS AND EVALUATION*. <https://doi.org/10.69821/JoSME.v1i1.1>
- Marín, C., & Maldonado, J. (2022). Estudio de las causas del colapso de puentes en Ecuador (2000-2022). *Journal Scientific*, 6(4). <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.368-395>
- Martínez, A. (2013). *Diseño de Investigación: principios teórico-metodológicos y prácticos para su concreción*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/186083>
- Ministerio de Transporte y Comunicación. (2011). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*.  
[https://www.google.com/search?q=MANUAL+DE+HIDROLOG%C3%8DA%2C+HIDR%C3%81ULICA+Y+DRENAJE&sca\\_esv=f5889c7ba9b3630a&sca\\_upv=1&rlz=1C1UUXU\\_esPE1040PE1040&sxsrf=ADLYWILC3mJgrH-GmBQhe90y85KC-SrW1w%3A1724708528255&ei=sPbMZtiiD\\_\\_Y1sQPwrTg2As&ved=0ahUKEwjYuqv5z5OIAxV\\_rJUCHUIaGLsQ4dUDCA8&oq=MANUAL+DE+HIDROLOG%C3%8DA%2C+HIDR%C3%81ULICA+Y+DRENAJE&gs\\_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiLE1BTIVBTCBERS](https://www.google.com/search?q=MANUAL+DE+HIDROLOG%C3%8DA%2C+HIDR%C3%81ULICA+Y+DRENAJE&sca_esv=f5889c7ba9b3630a&sca_upv=1&rlz=1C1UUXU_esPE1040PE1040&sxsrf=ADLYWILC3mJgrH-GmBQhe90y85KC-SrW1w%3A1724708528255&ei=sPbMZtiiD__Y1sQPwrTg2As&ved=0ahUKEwjYuqv5z5OIAxV_rJUCHUIaGLsQ4dUDCA8&oq=MANUAL+DE+HIDROLOG%C3%8DA%2C+HIDR%C3%81ULICA+Y+DRENAJE&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiLE1BTIVBTCBERS)

BISURST0xPR8ONQSwgSEIEUsOBVUxJQ0EgWSBEUkVOQUpFMgUQABiABDIIEAA  
 YgAQYogQyCBAAGIAEGKIEMggQABiABBiiBEjbFIDCCljCCnABeACQAQCYAaABO  
 AGgAaoBAzAuMbgBDMgBAPgBAfgBAPgCAqACrAGoAhPCAgcQIxnGOoCwgIUEA  
 AYgAQY4wQYtAIY6QQY6gLYAQHCAhYQABgDGLQCGOUCGOoCGIwDGI8B2AEC  
 mAMKugYGCAEQARgBugYGCAIQARgLkgcDMS4xoAf6Ag&sclient=gws-wiz-serp

Mousalli, G. (2015). *Métodos y diseños de investigación cuantitativa*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.9446>

Moussa, R. (1996). Analytical Hayami Solution for the Diffusive Wave Flood Routing Problem with Lateral Inflow. *Hydrological Processes* .

Núñez, J. (2023). *Evaluación de rugosidad de Manning en cauces de ríos de alta pendiente—caso Río Mantaro tramo: Puente Matachico—Puente La Breña* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9177>

Peñabaena, R., Oviedo, O., Cuencas, S., & García, E. (2014). Metodología para la implementación del diseño económico y/o estadístico de cartas de control x-barra con parámetros variables (VP). *Scielo.Org.Co*, 81(184), 150–157.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532014000200020&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532014000200020&script=sci_arttext)

Philippus, D., Wolfand, J., Abdi, R., & Hogue, t. (2021). Raspy-Cal: A Genetic Algorithm-Based Automatic Calibration Tool for HEC-RAS Hydraulic Models. *Water*, 13(21), 3061.

<https://doi.org/10.3390/w13213061>

Pinzón, J. E. (2020). Precisión del pronóstico de la propagación del COVID-19 en Colombia.

*Revistas.Fucsalud.Edu.Co*, 29, 27–33.

<https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1045>

- Pizarro, R., Balocchi, F., Andrade, F., Sangüesa, C., Vargas, J., Morales, C., Vera, M., Valdés, R., Mendoza, R., Olivares, C., Abarza, A., & Fuentes, R. (2012). Análisis comparativo de tres hidrogramas unitarios sintéticos en dos cuencas mediterráneas de Chile, región del Maule. *Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(1), 05–20.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.09.054>
- Ramesh, R., Datta, B., Bhallamudi, S. M., & Narayana, A. (2000). Optimal Estimation of Roughness in Open-Channel Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4), 299–303.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:4\(299\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:4(299))
- Ramos, C. (2016). *La pregunta de investigación*.  
<http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/3842>
- Rasooli, S., Bazaee, A., & Aghamajidi, R. (2022). A Study of Calculation Manning Roughness Methods: The Case of a Small River in Southwestern Iran. *The Case of a Small River in Southwestern Iran*, 4(7), 11–17. <https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.365058.1162>
- Riva, P., Sánchez, A., & Gaspari, F. (2021). CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN, BUENOS AIRES, ARGENTINA. 13(21), 1–20.  
<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig>
- Rodas, M., Timbe, L., & Campozano, L. (2023a). Sensibilidad del coeficiente de Manning en la estimación de los niveles de crecida para el mapeo de inundaciones en un río de la región interandina de Ecuador. *Scielo.Org.Co*. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n194764>
- Rodas, M., Timbe, L., & Campozano, L. (2023b). Sensibilidad del coeficiente de Manning en la estimación de los niveles de crecida para el mapeo de inundaciones en un río de la región interandina de Ecuador. *Cuadernos de Geografía*.

- Sánchez, A. L. (2023). *Análisis comparativo del coeficiente de rugosidad de Manning estimado en campo con los estimados aplicando 4 metodologías empíricas en el Lecho del Río Porcón* [Universidad Nacional deCajamarca].  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6894>
- Sanz, M., Bladé, E., González, F., Olivares, G., & Aragón, J. (2021). Interpreting the manning roughness coefficient in overland flow simulations with coupled hydrological-hydraulic distributed models. *Water (Switzerland)*, *13*(23), 3433.  
<https://doi.org/10.3390/W13233433/S1>
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, *67*. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Shahverdi, K., & Talebmorad, H. (2023). Automating HEC-RAS and Linking with Particle Swarm Optimizer to Calibrate Manning’s Roughness Coefficient. *Water Resources Management*, *37*(2), 975–993. <https://doi.org/10.1007/S11269-022-03422-8>
- Sierra, E., & Mendoza, E. (2005). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA ARENA DE CANCÚN. *Researchgate.Net*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Silva-9/publication/324226651\\_Analisis\\_de\\_las\\_propiedades\\_fisicas\\_y\\_mecanicas\\_de\\_la\\_arena\\_de\\_Cancun/links/5f0ca7b8a6fdcca32ae69b60/Analisis-de-las-propiedades-fisicas-y-mecanicas-de-la-arena-de-Cancun.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Silva-9/publication/324226651_Analisis_de_las_propiedades_fisicas_y_mecanicas_de_la_arena_de_Cancun/links/5f0ca7b8a6fdcca32ae69b60/Analisis-de-las-propiedades-fisicas-y-mecanicas-de-la-arena-de-Cancun.pdf)
- Smith, K. G. (1956). Standards for grading texture of erosional topography, American. *Journal of Science*, *67*, 655–668.

- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117: HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strickler, A. (1923). *Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschossene Leitunge* (Mitteilungen des eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, Ed.; 16th ed.).
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 106(D7).  
<https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- Termini, D., & Moramarco, T. (2016). *Application of entropic approach to estimate the mean flow velocity and Manning roughness coefficient in a high-curvature flume*.  
<https://doi.org/10.2166/nh.2016.106>
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A., & Sarduy, L. (2012). Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(4), 345–350.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1930/193027579001.pdf>
- Van Rijn, L. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas* (Aqua Publications, Ed.; 1 Ringbound Dec).  
<https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=85377>
- Vega, G., Ávila, J., & Vega, A. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *Core.Ac. Uk*, 10(15). <https://core.ac.uk/download/pdf/236413540.pdf>
- Vélez, J. J., & Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Scielo.Org.CoJJ Vélez*

Upegui, A Botero Gutiérrez *Dyna*, 2011 • *scielo.Org.Co*, 78(165), 58–71.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532011000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532011000100006&script=sci_arttext)

Wasantha, A. M. (1995). Calibration of Riverbed Roughness. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(9), 664–671. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:9\(664\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:9(664))

Wohl, E. E. (1998). Uncertainty in Flood Estimates Associated with Roughness Coefficient.

*Journal of Hydraulic Engineering*, 124(2), 219–223. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:2\(219\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:2(219))

Yarahmadi, M., Parsaie, A., Shafai-Bejestan, M., Heydari, M., & Badzanchin, M. (2023a).

Estimation of Manning Roughness Coefficient in Alluvial Rivers with Bed Forms Using Soft Computing Models. *Water Resources Management*, 37(9), 3563–3584.

<https://doi.org/10.1007/S11269-023-03514-Z/METRICS>

Yarahmadi, M., Parsaie, A., Shafai-Bejestan, M., Heydari, M., & Badzanchin, M. (2023b).

Estimation of Manning Roughness Coefficient in Alluvial Rivers with Bed Forms Using Soft Computing Models. *Water Resources Management*, 37(9), 3563–3584.

<https://doi.org/10.1007/S11269-023-03514-Z>

Yazdan, M., Ahad, M., Kumar, R., & Mehedi, M. (2022). Estimation of channel and flood plain roughness using HEC-RAS model: A case study of the Veseočica River, Bosnia and

Herzegovina. *Iopscience.Iop. Org*, 5(4), 410–426. <https://doi.org/10.3390/j5040028>

Yen, B. (1973). OPEN-CHANNEL FLOW EQUATIONS REVISITED. *ASCE J Eng Mech Div*, 99(EM5), 979–1009. <https://doi.org/10.1061/JMCEA3.0001827>

Zhong, J., Feng, L., & Ong, Y. (2017). Gene expression programming: A survey. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 12(3), 54–72.

<https://doi.org/10.1109/MCI.2017.2708618>

- Zhong, J., Luo, L., & Cai, W. (2014). Automatic rule identification for agent-based crowd models through gene expression programming. *Proceedings of the 2014 International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1125–1132.  
<https://ifmas.csc.liv.ac.uk/Proceedings/aamas2014/aamas/p1125.pdf>
- Zhou, C., Xiao, W., & Tirpak, T. (2003). Evolving accurate and compact classification rules with gene expression programming. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(6), 519–531. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2003.819261>
- Zuo, J., Tang, C.-J., Li, C., Yuan, C.-A., & Chen, A.-L. (2004). Time series prediction based on gene expression programming. *Springer J Zuo, C Tang, C Li, C Yuan, A Chen International Conference on Web-Age Information Management*, 3129, 55–64.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-27772-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27772-9_7)

## ANEXOS

## Anexo 1

## Matriz de consistencia

Preguntas	Objetivo	Hipótesis	Alcance de investigación	Universo investigado	Técnica e instrumentos	Tamaño, muestra y ensayo
General	Específicos	General			Técnica: Observación directa	Muestra:
¿Cuáles son las características de la cuenca hidrográfica y parámetros del río Tarma?	Obtener las características de la cuenca hidrográfica y parámetros hidráulicos del río Tarma.	Las características hidrográficas, que presenta un relieve alto y rocoso, con una red hídrica detrítica las morfológicas son de caudal promedio de 2.3m <sup>3</sup> /s, velocidad media de 0.56 m/s ancho aproximado del río de	Descriptiva (Cuantitativa)	Cauce del río Collana	Instrumentos: ArcGIS Pro HEC-HMS 4.12 HEC-RAS V.6.5 Rstudio CIVIL3D Correntómetro Dron	La muestra es de 1000m. del río Collana ubicado en la provincia de Tarma, para determinar la macro rugosidad del río y su influencia en el diseño y costo de una obra hidráulica.

<b>Preguntas</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Alcance de investigación</b>	<b>Universo investigado</b>	<b>Técnica e instrumentos</b>	<b>Tamaño, muestra y ensayo</b>
		2.70 tirante de 0.40m				
¿Cuáles son las características de la cuenca hidrográfica y parámetros del río Collana?	Estimar la rugosidad del río Collana.	Se estima una macro rugosidad del río Collana con un promedio de 0.030				
¿Cuál es el impacto económico de la macro rugosidad en las estructuras hidráulicas?	Determinar el efecto de la macro rugosidad sobre el costo de las estructuras hidráulicas.	El impacto económico será de manera significativa con una disminución del 5% la cual se podrá dimensionar las estructuras de forma óptima en la región.				



- 
- Análisis de resultados de velocidades del flujo del río.
  - Análisis topográfico.
  - Operación de variables
  - Contrastación de hipótesis
- 



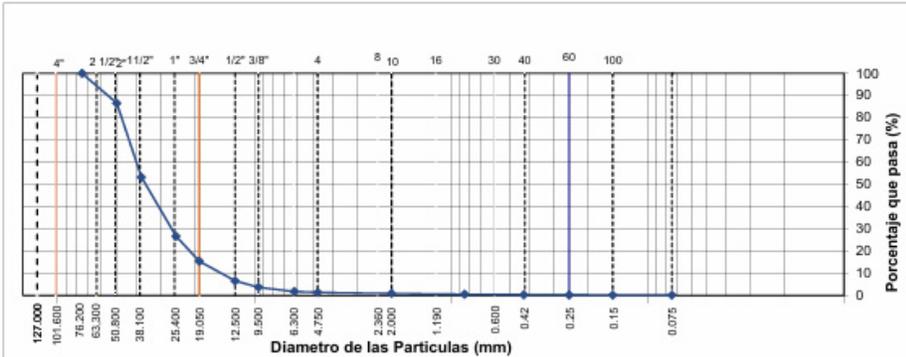
## Anexo 3

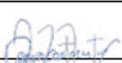
## Ensayo granulométrico del punto 1

		<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <b>NTP 339.128</b>	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 1 (0+000 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	20/05/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	705	13.447	13.447	86.553
1 1/2"	37.500	1745	33.282	46.729	53.271
1"	25.000	1395	26.607	73.336	26.664
3/4"	19.000	590	11.253	84.589	15.411
1/2"	12.500	465	8.869	93.458	6.542
3/8"	9.500	150	2.861	96.319	3.681
1/4"	6.250	100	1.907	98.226	1.774
N°4	4.750	26	0.496	98.722	1.278
N°10	2.000	22	0.420	99.142	0.858
N°20	0.850	19	0.362	99.504	0.496
N°40	0.425	11	0.210	99.714	0.286
N°60	0.250	6	0.114	99.828	0.172
N°100	0.150	4	0.076	99.905	0.095
N° 200	0.075	2	0.038	99.943	0.057
FONDO		3	0.057	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
		
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 20/05/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 4

## Ensayo granulométrico del punto 2

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
		METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 2 (0+020 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	28/05/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

**REPORTE DE RESULTADOS**

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	805	17.088	17.088	82.912
1 1/2"	37.500	590	12.524	29.612	70.388
1"	25.000	1375	29.187	58.799	41.201
3/4"	19.000	690	14.647	73.445	26.555
1/2"	12.500	470	9.977	83.422	16.578
3/8"	9.500	155	3.290	86.712	13.288
1/4"	6.250	210	4.458	91.170	8.830
N°4	4.750	100	2.123	93.292	6.708
N°10	2.000	200	4.245	97.538	2.462
N°20	0.850	80	1.698	99.236	0.764
N°40	0.425	24	0.509	99.745	0.255
N°60	0.250	6	0.127	99.873	0.127
N°100	0.150	2	0.042	99.915	0.085
N° 200	0.075	2	0.042	99.958	0.042
FONDO		2	0.042	100.000	0.000

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yonifa Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 28/05/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

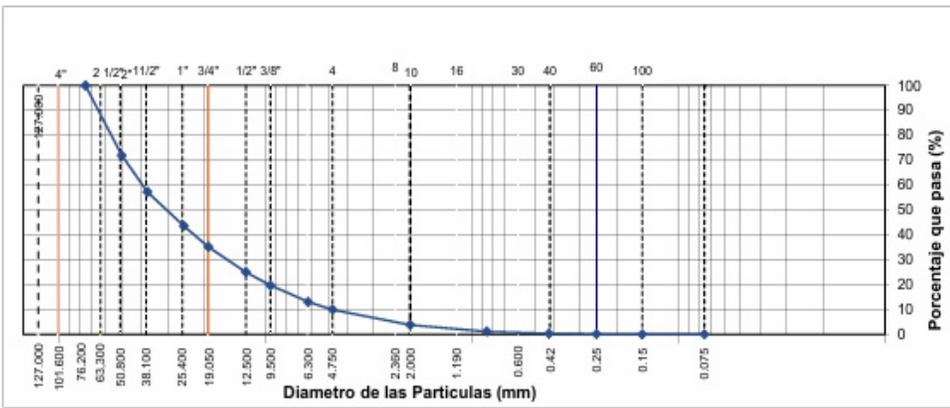
## Anexo 5

## Ensayo granulométrico del punto 3

<b>UCSS</b> 		<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
<b>NTP 339.128</b>			
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Punte		
UBICACIÓN:	Rio Tarma	PROCEDENCIA:	Rio Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 3 (0+040 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	28/05/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	1310	28.136	28.136	71.864
1 1/2"	37.500	685	14.712	42.848	57.152
1"	25.000	635	13.638	56.486	43.514
3/4"	19.000	390	8.376	64.863	35.137
1/2"	12.500	475	10.202	75.064	24.936
3/8"	9.500	245	5.262	80.326	19.674
1/4"	6.250	310	6.658	86.985	13.015
N°4	4.750	145	3.114	90.099	9.901
N°10	2.000	285	6.121	96.220	3.780
N°20	0.850	125	2.685	98.905	1.095
N°40	0.425	39	0.838	99.742	0.258
N°60	0.250	8	0.172	99.914	0.086
N°100	0.150	2	0.043	99.957	0.043
N° 200	0.075	1	0.021	99.979	0.021
FONDO		1	0.021	100.000	0.000

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
		
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garcos Diaz
FECHA: 28/05/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 6

## Ensayo granulométrico del punto 4

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
NTP 339.128			
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 4 (0+060 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	10/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	12/05/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	37.500	85	3.502	3.502	96.498
1"	25.000	640	26.370	29.872	70.128
3/4"	19.000	550	22.662	52.534	47.466
1/2"	12.500	395	16.275	68.809	31.191
3/8"	9.500	175	7.211	76.020	23.980
1/4"	6.250	205	8.447	84.466	15.534
N°4	4.750	100	4.120	88.587	11.413
N°10	2.000	190	7.829	96.415	3.585
N°20	0.850	65	2.678	99.094	0.906
N°40	0.425	10	0.412	99.506	0.494
N°60	0.250	5	0.206	99.712	0.288
N°100	0.150	3	0.124	99.835	0.165
N° 200	0.075	2	0.082	99.918	0.082
FONDO		2	0.082	100.000	0.000

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje horizontal etiquetado como 'Diámetro de las Partículas (mm)' y el eje vertical como 'Porcentaje que pasa (%)'. El eje horizontal tiene marcas para diámetros de 127.000, 101.600, 76.200, 63.300, 50.800, 38.100, 25.400, 19.050, 12.500, 9.500, 6.300, 4.750, 2.360, 2.000, 1.190, 0.800, 0.42, 0.25, 0.15, y 0.075 mm. El eje vertical va de 0 a 100. La curva comienza en 100% para diámetros superiores a 75 mm y se aproxima a 0% para diámetros inferiores a 0.075 mm.

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Vegetura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 12/05/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 7

## Ensayo granulométrico del punto 5

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
NTP 339.128			
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Punte		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 5 (0+080 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	1/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	1435	23.610	23.610	76.390
1 1/2"	37.500	1775	29.204	52.813	47.187
1"	25.000	995	16.371	69.184	30.816
3/4"	19.000	390	6.417	75.601	24.399
1/2"	12.500	415	6.828	82.428	17.572
3/8"	9.500	205	3.373	85.801	14.199
1/4"	6.250	255	4.195	89.997	10.003
N°4	4.750	145	2.386	92.382	7.618
N°10	2.000	270	4.442	96.825	3.175
N°20	0.850	130	2.139	98.963	1.037
N°40	0.425	47	0.773	99.737	0.263
N°60	0.250	10	0.165	99.901	0.099
N°100	0.150	2	0.033	99.934	0.066
N° 200	0.075	2	0.033	99.967	0.033
FONDO		2	0.033	100.000	0.000

El gráfico muestra la curva de granulometría con el eje horizontal representando el diámetro de las partículas en milímetros (mm) y el eje vertical representando el porcentaje que pasa (%). Las mallas utilizadas están marcadas con líneas verticales discontinuas y sus respectivos diámetros: 4", 2 1/2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200 y FONDO. La curva muestra que el 100% de las partículas pasan por la malla de 75 mm y que el 0.033% de las partículas pasan por la malla de 0.075 mm.

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atención Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Venturara	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 1/06/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 8

## Ensayo granulométrico del punto 6

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
		METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 6 (0+100 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	1/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	285	5.404	5.404	94.596
1 1/2"	37.500	1140	21.618	27.022	72.978
1"	25.000	1450	27.496	54.518	45.482
3/4"	19.000	950	18.015	72.532	27.468
1/2"	12.500	760	14.412	86.944	13.056
3/8"	9.500	190	3.603	90.547	9.453
1/4"	6.250	195	3.698	94.245	5.755
N°4	4.750	90	1.707	95.951	4.049
N°10	2.000	140	2.655	98.606	1.394
N°20	0.850	57	1.081	99.687	0.313
N°40	0.425	12	0.228	99.915	0.085
N°60	0.250	2	0.038	99.953	0.047
N°100	0.150	1	0.019	99.972	0.028
N° 200	0.075	1	0.019	99.991	0.009
FONDO		0.5	0.009	100.000	0.000

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje horizontal etiquetado como 'Diametro de las Partículas (mm)' y el eje vertical como 'Porcentaje que pasa (%)'. El eje horizontal tiene marcas para mallas estándar (4", 2 1/2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200) y sus respectivos diámetros en milímetros. El eje vertical va de 0 a 100. La curva comienza en 100% para partículas mayores que 75 mm y desciende gradualmente hasta aproximadamente 0.009% para partículas menores que 0.075 mm.

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 1/06/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 9

## Ensayo granulométrico del punto 7

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
		METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Punte		
UBICACIÓN:	Rio Tarma	PROCEDENCIA:	Rio Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 7 (0+120 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	10/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	12/05/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	37.500	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.000	170	6.855	6.855	93.145
3/4"	19.000	285	11.492	18.347	81.653
1/2"	12.500	475	19.153	37.500	62.500
3/8"	9.500	290	11.694	49.194	50.806
1/4"	6.250	315	12.702	61.895	38.105
N°4	4.750	200	8.065	69.960	30.040
N°10	2.000	455	18.347	88.306	11.694
N°20	0.850	170	6.855	95.161	4.839
N°40	0.425	55	2.218	97.379	2.621
N°60	0.250	25	1.008	98.387	1.613
N°100	0.150	15	0.605	98.992	1.008
N° 200	0.075	15	0.605	99.597	0.403
FONDO		10	0.403	100.000	0.000

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Verónica	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 12/05/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 10

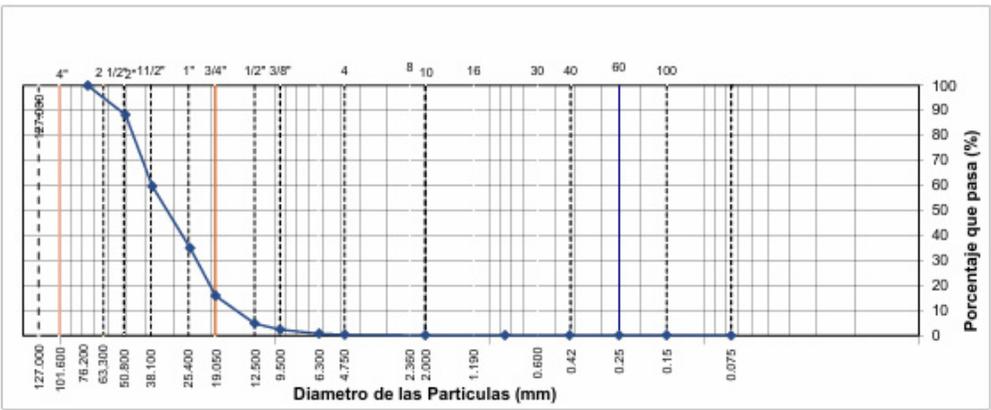
## Ensayo granulométrico del punto 8

		<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <b>NTP 339.128</b>	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Punte		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 8 (0+140 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	3/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

**REPORTE DE RESULTADOS**

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	610	11.731	11.731	88.269
1 1/2"	37.500	1485	28.558	40.288	59.712
1"	25.000	1285	24.712	65.000	35.000
3/4"	19.000	995	19.135	84.135	15.865
1/2"	12.500	575	11.058	95.192	4.808
3/8"	9.500	125	2.404	97.596	2.404
1/4"	6.250	87	1.673	99.269	0.731
N°4	4.750	19	0.365	99.635	0.365
N°10	2.000	13	0.250	99.885	0.115
N°20	0.850	1	0.019	99.904	0.096
N°40	0.425	1	0.019	99.923	0.077
N°60	0.250	0.5	0.010	99.933	0.067
N°100	0.150	0.5	0.010	99.942	0.058
N° 200	0.075	1	0.019	99.962	0.038
FONDO		2	0.038	100.000	0.000

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
		
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 3/06/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

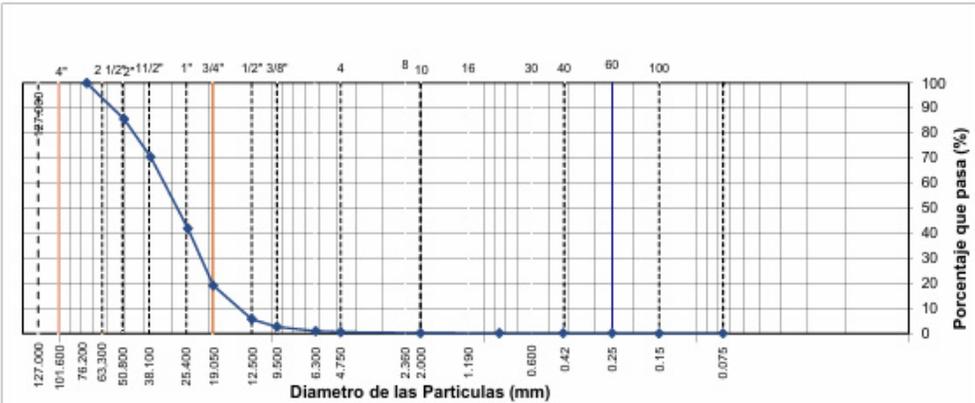
## Anexo 11

## Ensayo granulométrico del punto 9

		<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <b>NTP 339.128</b>	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
UBICACIÓN:	Río Tarma	PROCEDENCIA:	Río Tarma, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín
CALICATA:	PUNTO 9 (0+160 m)	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CALICATA:	Cielo abierto
FECHA DE ENSAYO:	3/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	590	14.432	14.432	85.568
1 1/2"	37.500	615	15.044	29.477	70.523
1"	25.000	1170	28.620	58.097	41.903
3/4"	19.000	930	22.750	80.846	19.154
1/2"	12.500	550	13.454	94.300	5.700
3/8"	9.500	125	3.058	97.358	2.642
1/4"	6.250	71	1.737	99.095	0.905
N°4	4.750	15	0.367	99.462	0.538
N°10	2.000	16	0.391	99.853	0.147
N°20	0.850	2	0.049	99.902	0.098
N°40	0.425	1	0.024	99.927	0.073
N°60	0.250	0.5	0.012	99.939	0.061
N°100	0.150	0.5	0.012	99.951	0.049
N° 200	0.075	1	0.024	99.976	0.024
FONDO		1	0.024	100.000	0.000

Diametro de las Partículas (mm)

Porcentaje que pasa (%)

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>JEFE DE LABORATORIO</b>	<b>INGENIERO A CARGO</b>
		
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 3/06/2021	FECHA: 07/06/2021	FECHA: 07/06/2021

## Anexo 12

## Ensayo granulométrico del punto 10

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128			
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente				
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto		
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 10 (0+180 m)		
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP		
FECHA DE ENSAYO:	8/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial		

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	1260	21.936	21.936	78.064
1 1/2"	37.500	1035	18.019	39.955	60.045
1"	25.000	825	14.363	54.318	45.682
3/4"	19.000	280	4.875	59.192	40.808
1/2"	12.500	650	11.316	70.508	29.492
3/8"	9.500	305	5.310	75.818	24.182
1/4"	6.250	465	8.095	83.914	16.086
N°4	4.750	210	3.656	87.570	12.430
N°10	2.000	390	6.790	94.359	5.641
N°20	0.850	199	3.464	97.824	2.176
N°40	0.425	83	1.445	99.269	0.731
N°60	0.250	22	0.383	99.652	0.348
N°100	0.150	9	0.157	99.808	0.192
N° 200	0.075	5	0.087	99.896	0.104
FONDO		6	0.104	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garcés Diaz
FECHA: 8/06/2021	FECHA: 14/06/2021	FECHA: 14/06/2021

## Anexo 13

## Ensayo granulométrico del punto 11

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 11 (0+200 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	11/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	2105	35.775	35.775	64.225
1 1/2"	37.500	1270	21.584	57.359	42.641
1"	25.000	1169	19.867	77.226	22.774
3/4"	19.000	640	10.877	88.103	11.897
1/2"	12.500	350	5.948	94.052	5.948
3/8"	9.500	95	1.615	95.666	4.334
1/4"	6.250	125	2.124	97.791	2.209
N°4	4.750	40	0.680	98.470	1.530
N°10	2.000	65	1.105	99.575	0.425
N°20	0.850	17	0.289	99.864	0.136
N°40	0.425	4	0.068	99.932	0.068
N°60	0.250	1	0.017	99.949	0.051
N°100	0.150	1	0.017	99.966	0.034
N° 200	0.075	1	0.017	99.983	0.017
FONDO		1	0.017	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 11/06/2021	FECHA: 14/06/2021	FECHA: 14/06/2021

## Anexo 14

## Ensayo granulométrico del punto 12

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 12 (0+220 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	11/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	1105	19.762	19.762	80.238
1 1/2"	37.500	2040	36.484	56.246	43.754
1"	25.000	1770	31.655	87.901	12.099
3/4"	19.000	385	6.885	94.787	5.213
1/2"	12.500	235	4.203	98.990	1.010
3/8"	9.500	35	0.626	99.615	0.385
1/4"	6.250	10	0.179	99.794	0.206
N°4	4.750	3	0.054	99.848	0.152
N°10	2.000	3	0.054	99.902	0.098
N°20	0.850	1	0.018	99.920	0.080
N°40	0.425	1	0.018	99.937	0.063
N°60	0.250	1	0.018	99.955	0.045
N°100	0.150	0.5	0.009	99.964	0.036
N° 200	0.075	1	0.018	99.982	0.018
FONDO		1	0.018	100.000	0.000

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje horizontal representando el diámetro de las partículas en milímetros (logarítmico) y el eje vertical representando el porcentaje que pasa (%). Las mallas estándar están indicadas en la parte superior del gráfico.

Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa (%)
127.000	100.000
101.600	100.000
76.200	100.000
63.300	100.000
50.800	100.000
38.100	100.000
25.400	100.000
19.050	100.000
12.500	100.000
9.500	100.000
7.500	100.000
6.000	100.000
4.750	100.000
3.750	100.000
3.000	100.000
2.500	100.000
2.000	100.000
1.600	100.000
1.180	100.000
0.850	100.000
0.600	100.000
0.425	100.000
0.250	100.000
0.150	100.000
0.075	100.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 11/06/2021	FECHA: 14/06/2021	FECHA: 14/06/2021

## Anexo 15

## Ensayo granulométrico del punto 13

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 13 (0+240 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	11/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	830	14.340	14.340	85.660
1 1/2"	37.500	1825	31.531	45.871	54.129
1"	25.000	1805	31.185	77.056	22.944
3/4"	19.000	565	9.762	86.818	13.182
1/2"	12.500	470	8.120	94.938	5.062
3/8"	9.500	130	2.246	97.184	2.816
1/4"	6.250	95	1.641	98.825	1.175
N°4	4.750	29	0.501	99.326	0.674
N°10	2.000	25	0.432	99.758	0.242
N°20	0.850	6	0.104	99.862	0.138
N°40	0.425	3	0.052	99.914	0.086
N°60	0.250	1	0.017	99.931	0.069
N°100	0.150	1	0.017	99.948	0.052
N° 200	0.075	1	0.017	99.965	0.035
FONDO		2	0.035	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 11/06/2021	FECHA: 14/06/2021	FECHA: 14/06/2021

## Anexo 16

## Ensayo granulométrico del punto 14

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 14 (0+260 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	15/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	550	11.983	11.983	88.017
1 1/2"	37.500	1500	32.680	44.662	55.338
1"	25.000	880	19.172	63.834	36.166
3/4"	19.000	955	20.806	84.641	15.359
1/2"	12.500	480	10.458	95.098	4.902
3/8"	9.500	115	2.505	97.603	2.397
1/4"	6.250	70	1.525	99.129	0.871
N°4	4.750	20	0.436	99.564	0.436
N°10	2.000	13	0.283	99.847	0.153
N°20	0.850	2	0.044	99.891	0.109
N°40	0.425	1	0.022	99.913	0.087
N°60	0.250	1	0.022	99.935	0.065
N°100	0.150	1	0.022	99.956	0.044
N° 200	0.075	1	0.022	99.978	0.022
FONDO		1	0.022	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 15/06/2021	FECHA: 28/06/2021	FECHA: 28/06/2021

## Anexo 17

## Ensayo granulométrico del punto 15

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Punte		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 15 (0+280 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	15/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	175	3.205	3.205	96.795
1 1/2"	37.500	885	16.206	19.410	80.590
1"	25.000	1950	35.708	55.118	44.882
3/4"	19.000	640	11.719	66.838	33.162
1/2"	12.500	975	17.854	84.691	15.309
3/8"	9.500	360	6.592	91.284	8.716
1/4"	6.250	355	6.501	97.784	2.216
N°4	4.750	60	1.099	98.883	1.117
N°10	2.000	45	0.824	99.707	0.293
N°20	0.850	9	0.165	99.872	0.128
N°40	0.425	3	0.055	99.927	0.073
N°60	0.250	1	0.018	99.945	0.055
N°100	0.150	1	0.018	99.963	0.037
N° 200	0.075	1	0.018	99.982	0.018
FONDO		1	0.018	100.000	0.000

Díametro de las Partículas (mm)

Porcentaje que pasa (%)

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garcés Díaz
FECHA: 15/06/2021	FECHA: 28/06/2021	FECHA: 28/06/2021

## Anexo 18

## Ensayo granulométrico del punto 16

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 16 (0+300 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	18/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	340	6.299	6.299	93.701
1 1/2"	37.500	1060	19.637	25.936	74.064
1"	25.000	2005	37.143	63.079	36.921
3/4"	19.000	550	10.189	73.268	26.732
1/2"	12.500	705	13.060	86.328	13.672
3/8"	9.500	340	6.299	92.627	7.373
1/4"	6.250	205	3.798	96.425	3.575
N°4	4.750	72	1.334	97.758	2.242
N°10	2.000	86	1.593	99.352	0.648
N°20	0.850	20	0.371	99.722	0.278
N°40	0.425	6	0.111	99.833	0.167
N°60	0.250	2	0.037	99.870	0.130
N°100	0.150	2	0.037	99.907	0.093
N° 200	0.075	2	0.037	99.944	0.056
FONDO		3	0.056	100.000	0.000

Diámetro de las Partículas (mm)

Porcentaje que pasa (%)

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 18/06/2021	FECHA: 28/06/2021	FECHA: 28/06/2021

## Anexo 19

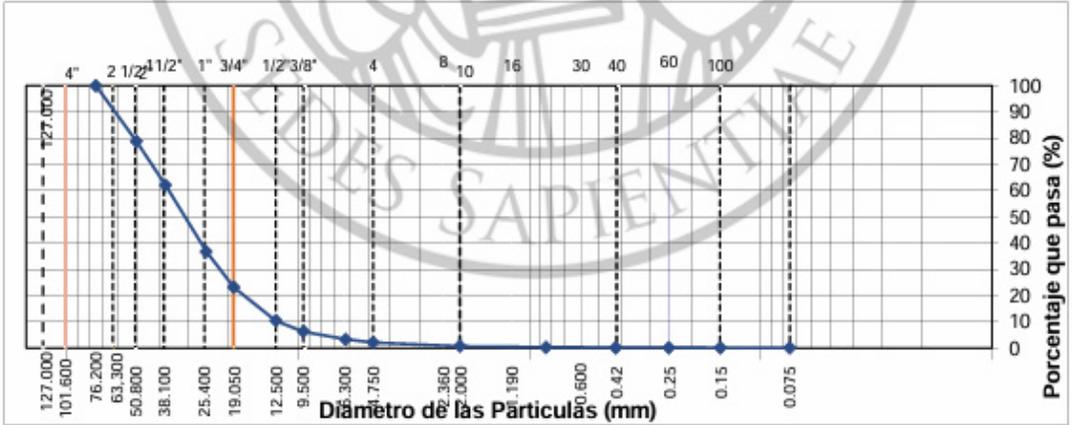
## Ensayo granulométrico del punto 17

		<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <b>NTP 339.128</b>	
		SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 17 (0+320 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	24/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

**REPORTE DE RESULTADOS**

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	1305	21.306	21.306	78.694
1 1/2"	37.500	1020	16.653	37.959	62.041
1"	25.000	1550	25.306	63.265	36.735
3/4"	19.000	835	13.633	76.898	23.102
1/2"	12.500	780	12.735	89.633	10.367
3/8"	9.500	255	4.163	93.796	6.204
1/4"	6.250	181	2.955	96.751	3.249
N°4	4.750	73	1.192	97.943	2.057
N°10	2.000	87	1.420	99.363	0.637
N°20	0.850	24	0.392	99.755	0.245
N°40	0.425	7	0.114	99.869	0.131
N°60	0.250	3	0.049	99.918	0.082
N°100	0.150	2	0.033	99.951	0.049
N° 200	0.075	1	0.016	99.967	0.033
FONDO		2	0.033	100.000	0.000

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
		
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 24/06/2021	FECHA: 28/06/2021	FECHA: 28/06/2021

## Anexo 20

## Ensayo granulométrico del punto 18

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
		METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junin	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 18 (0+340 m)
FECHA DE MUESTREO:	12/05/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	24/06/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	37.500	1280	22.683	22.683	77.317
1"	25.000	1990	35.265	57.948	42.052
3/4"	19.000	530	9.392	67.340	32.660
1/2"	12.500	580	10.278	77.618	22.382
3/8"	9.500	290	5.139	82.757	17.243
1/4"	6.250	315	5.582	88.340	11.660
N°4	4.750	140	2.481	90.820	9.180
N°10	2.000	265	4.696	95.517	4.483
N°20	0.850	136	2.410	97.927	2.073
N°40	0.425	65	1.152	99.079	0.921
N°60	0.250	28	0.496	99.575	0.425
N°100	0.150	12	0.213	99.787	0.213
N° 200	0.075	6	0.106	99.894	0.106
FONDO		6	0.106	100.000	0.000

Díametro de las Partículas (mm)

Porcentaje que pasa (%)

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 24/06/2021	FECHA: 28/06/2021	FECHA: 28/06/2021

## Anexo 21

## Ensayo granulométrico del punto 19

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	
		METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		NTP 339.128	
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente		
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junín	CALICATA:	Cielo abierto
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 19 (0+360 m)
FECHA DE MUESTREO:	2/07/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP
FECHA DE ENSAYO:	6/07/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial

### REPORTE DE RESULTADOS

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	200	3.630	3.630	96.370
1 1/2"	37.500	985	17.880	21.510	78.490
1"	25.000	1245	22.599	44.110	55.890
3/4"	19.000	505	9.167	53.276	46.724
1/2"	12.500	735	13.342	66.618	33.382
3/8"	9.500	340	6.172	72.790	27.210
1/4"	6.250	415	7.533	80.323	19.677
N°4	4.750	180	3.267	83.590	16.410
N°10	2.000	445	8.078	91.668	8.332
N°20	0.850	280	5.083	96.751	3.249
N°40	0.425	120	2.178	98.929	1.071
N°60	0.250	37	0.672	99.601	0.399
N°100	0.150	12	0.218	99.818	0.182
N° 200	0.075	5	0.091	99.909	0.091
FONDO		5	0.091	100.000	0.000

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 6/07/2021	FECHA: 07/07/2021	FECHA: 07/07/2021

## Anexo 22

## Ensayo granulométrico del punto 20

UCSS		LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128			
SOLICITANTE:	Rafael Guillermo Javier Poma Puente				
PROCEDENCIA:	Tarma-Tarma-Junín	CALICATA:	Cielo abierto		
UBICACIÓN:	Río Tarma	MUESTRA:	Punto 20 (0+380 m)		
FECHA DE MUESTREO:	2/07/2021	CÓDIGO:	001-2021-TM-LABCIVIL/RP		
FECHA DE ENSAYO:	6/07/2021	PROFUNDIDAD:	Superficial		

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.000	470	8.378	8.378	91.622
1 1/2"	37.500	740	13.191	21.569	78.431
1"	25.000	1695	30.214	51.783	48.217
3/4"	19.000	770	13.725	65.508	34.492
1/2"	12.500	840	14.973	80.481	19.519
3/8"	9.500	345	6.150	86.631	13.369
1/4"	6.250	330	5.882	92.513	7.487
N°4	4.750	110	1.961	94.474	5.526
N°10	2.000	180	3.209	97.683	2.317
N°20	0.850	85	1.515	99.198	0.802
N°40	0.425	30	0.535	99.733	0.267
N°60	0.250	9	0.160	99.893	0.107
N°100	0.150	3	0.053	99.947	0.053
N° 200	0.075	1	0.018	99.964	0.036
FONDO		2	0.036	100.000	0.000

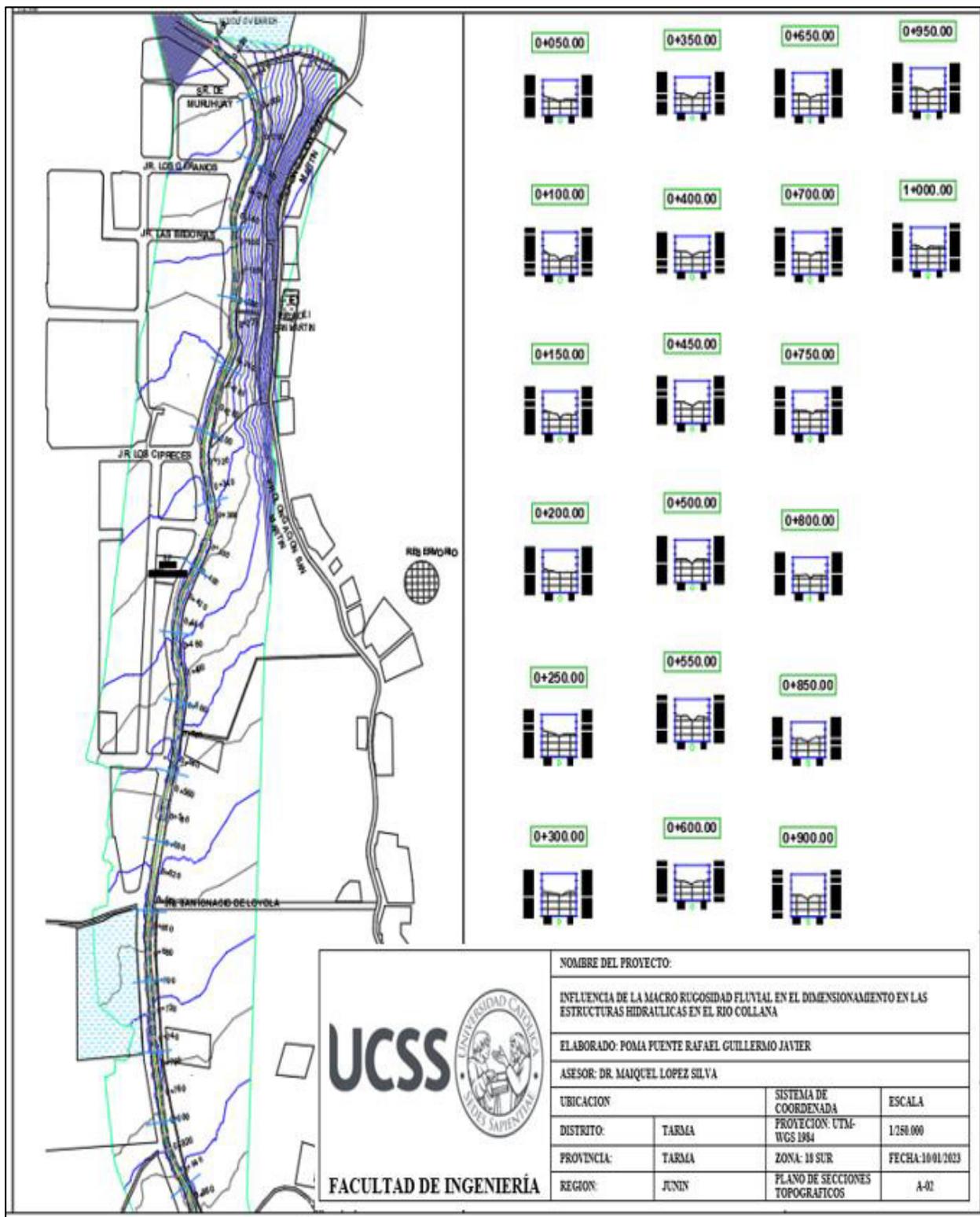
El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje horizontal etiquetado como 'Diámetro de las Partículas (mm)' y el eje vertical como 'Porcentaje que pasa (%)'. El eje horizontal tiene marcas para diámetros de 127.000, 101.600, 76.200, 63.300, 50.800, 38.100, 25.400, 19.050, 12.500, 9.500, 6.300, 4.750, 3.000, 2.000, 1.190, 0.600, 0.425, 0.25, 0.15, y 0.075 mm. El eje vertical va de 0 a 100 en incrementos de 10. La curva comienza en 100% para 75 mm y cae a 0.036% para 0.075 mm.

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	JEFE DE LABORATORIO	INGENIERO A CARGO
NOMBRE: Carlos Atencio Rojas	NOMBRE: Yomira Acosta Ventura	NOMBRE: Victor Garces Diaz
FECHA: 6/07/2021	FECHA: 07/07/2021	FECHA: 07/07/2021

Anexo 23

Plano topográfico



 <p><b>UCSS</b> UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE</p>				NOMBRE DEL PROYECTO:			
				INFLUENCIA DE LA MACRO RUGOSIDAD FLUVIAL EN EL DIMENSIONAMIENTO EN LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS EN EL RIO COLLANA			
				ELABORADO: POMA PUNTE RAFAEL GUILLERMO JAVIER			
				ASESOR: DR. MAIQUEL LOPEZ SILVA			
UBICACION		SISTEMA DE COORDENADA		ESCALA			
DISTRITO:	TARMA	PROYECCION: UTM- WGS 1984		1/250.000			
PROVINCIA:	TARMA	ZONA: 18 SUR		FECHA: 10/01/2023			
REGION:	JUNIN	PLANO DE SECCIONES TOPOGRAFICOS		A-02			

FACULTAD DE INGENIERÍA