

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Planteamiento de una estructura de defensa ribereña con el programa River para mitigar los daños de socavación del río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco - 2022”**

---

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Castillo Parra, Aaron Santino

ASESOR: Valdivieso Echevarría, Martin Cesar

HUÁNUCO – PERÚ

2023



# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Hidráulica  
**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Civil

**Disciplina:** Ingeniería Civil

# D

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título  
Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75376741

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22416570

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-0579-5135

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnología de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander	Título oficial de máster universitario en ingeniería hidráulica y medio ambiente	45250659	0000-0003-0701-2621
3	Martínez Fabian, Efraín Raúl	Maestro en gestión pública	22486921	0000-0002-5177-380X

# H



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día viernes 14 del mes de abril del año 2023, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS	(PRESIDENTE)
MG. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA	(SECRETARIO)
MG. EFRAÍN RAÚL MARTÍNEZ FABIÁN	(VOCAL)

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 798-2023-D-FI-UDH, para evaluar la **Tesis** intitulada: **"PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022"**, presentado por el (la) Bach. Aaron Santino CASTILLO PARRA, para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) *aprobado* por *unanimidad* con el calificativo cuantitativo de *14* y cualitativo de *suficiente* (Art. 47)

Siendo las *18:25* horas del día *14* del mes de *abril* del año *2023*, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS  
ORCID: 0000-0001-7920-1304  
**PRESIDENTE**

  
MG. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA  
ORCID: 0000-0003-0701-2621  
**SECRETARIO**

  
Mg. EFRAÍN RAÚL MARTÍNEZ FABIÁN  
ORCID: 0000-0002-5177-380X  
**VOCAL**

**DIRECTIVA N° 006- 2020- VRI-UDH PARA EL USO DEL SOFTWARE TURNITIN DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**

**Resolución N° 018-2020-VRI-UDH 03JUL20 y modificatoria R. N° 046-2020-VRI-UDH, 19OCT20**



**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**

Yo, **M.Sc. Ing. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA**, asesor del PA Ingeniería Civil y designado mediante documento **RESOLUCION N°942-2022-D-FI-UDH** del estudiante **Bach. AARON SANTINO CASTILLO PARRA**, de la investigación titulada **“PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY – HUÁNUCO-2022”**

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del **19%** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 18 de abril del 2023



**Ing. Martín C. Valdivieso Echevarría**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40444**

M.Sc. Ing. Martin Cesar Valdivieso Echevarria

DNI N° 22416570

Código ORCID N° 0000-0002-0579-5135

# TESIS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>19%</b> INDICE DE SIMILITUD	<b>18%</b> FUENTES DE INTERNET	<b>7%</b> PUBLICACIONES	<b>9%</b> TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uancv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upecen.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>

  
Martin Cesar Valdivieso Echevarria  
DNI N° 22416570  
Código ORCID N° 0000-0002-0579-5135

## **DEDICATORIA**

A mi mamá Palmira, quien es mi motivación y ejemplo de vida, quién me ha apoyado y motivado todos los días de mi vida para seguir adelante frente a las adversidades y nunca rendirme.

A mi abuela Manuela, por brindarme su cariño y amor incondicional y por darme sus sabios consejos de vida.

A mi tío Abdías, por apoyarme en todos los momentos de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá, mi abuela y mi tío, quienes fueron el pilar de mi formación personal y profesional, que gracias a ellos logré los objetivos que me había planteado en mi vida de estudiante.

A todos mis familiares que me dieron su apoyo en mi camino como profesional y me ayudaron a formarme de manera íntegra en mi camino universitario.

A mi asesor Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarría, quien me brindó su apoyo en la elaboración de esta investigación guiándome y dándome las pautas necesarias que requería.

A la Universidad de Huánuco, por todos los conocimientos impartidos durante el proceso de mi formación profesional.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
CAPÍTULO I.....	18
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	18
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	19
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO .....	20
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	20
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	21
1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	21
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	22
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	26
2.2. BASES TEÓRICAS .....	30
2.2.1. HIDROLOGÍA RELACIONADA CON EL PERÚ.....	30
2.2.2. HIDROLOGÍA Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL..	32
2.2.3. CICLO HIDROLÓGICO.....	33
2.2.4. HIDROLOGÍA Y LAS PROBLEMÁTICAS PRESENTES .....	34

2.2.5. ENTIDADES ENCARGADAS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS EN EL PERÚ.....	36
2.2.6. CUENCA HIDROGRÁFICA .....	38
2.2.7. PRECIPITACIÓN .....	50
2.2.8. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS .....	63
2.2.9. CANALES ABIERTOS .....	79
2.2.10. APLICACIONES DE SOFTWARE EN LA HIDROLOGÍA.....	82
2.2.11. INUNDACIONES .....	85
2.2.12. SOCAVACIÓN .....	86
2.2.13. PROTECCIÓN PARA DESBORDES .....	91
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	95
2.4. HIPÓTESIS .....	97
2.5. VARIABLES .....	97
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....	97
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	97
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES) .....	98
CAPÍTULO III.....	100
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	100
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	100
3.1.1. ENFOQUE .....	100
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	100
3.1.3. DISEÑO .....	100
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	101
3.2.1. POBLACIÓN .....	101
3.2.2. MUESTRA .....	101
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ....	101
3.3.1. TÉCNICAS.....	101
3.3.2. INSTRUMENTOS .....	103
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	107
CAPÍTULO IV.....	109
RESULTADOS.....	109
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	109

4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA ALTO HUALLAGA B/QDA. TRANCA.....	109
4.1.2. DELIMITACIÓN PARA LA CUENCA QUE GENERA EL RÍO HUACARMAYO .....	113
4.1.3. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES .....	116
4.1.4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO .....	123
4.1.5. DETERMINACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN:.....	124
4.1.6. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE DEFENSAS RIBEREÑAS DE TIPO ENROCADO .....	128
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ...	130
CAPÍTULO V.....	131
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	131
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	131
CONCLUSIONES .....	133
RECOMENDACIONES.....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXOS .....	138

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Disponibilidad de recursos hídricos en Perú.....	31
Tabla 2	Distribución de Unidades hidrográficas .....	32
Tabla 3	Tipo de material de acuerdo a su tamaño .....	50
Tabla 4	Periodos de retorno para estructuras .....	65
Tabla 5	Rugosidad de Manning.....	66
Tabla 6	Velocidad media a partir de características (m/min) .....	69
Tabla 7	Valores de Ramser .....	69
Tabla 8	Valores de coeficiente de escorrentía.....	72
Tabla 9	Valores de coeficiente de escorrentía para zonas urbanas .....	72
Tabla 10	Factores de escorrentía de Mac-Math.....	74
Tabla 11	Número de curva "N" .....	75
Tabla 12	Clasificación de los suelos.....	77
Tabla 13	Ecuaciones de socavación a largo plazo en cauces naturales ....	89
Tabla 14	Ecuaciones de socavación método analítico .....	89
Tabla 15	Socavación local en estrechamientos.....	90
Tabla 16	Operacionalización de variables.....	98
Tabla 17	Ficha de características geométricas .....	104
Tabla 18	Ficha de parámetros geomorfológicos.....	104
Tabla 19	Ficha para precipitaciones.....	105
Tabla 20	Ficha para parámetros estadísticos.....	106
Tabla 21	Ficha de análisis Smirnov Kolmogorov.....	106
Tabla 22	Ficha de determinación de la mejor distribución de ajuste .....	106
Tabla 23	Ficha de determinación de caudales de diseño.....	107
Tabla 24	Características de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca .	110
Tabla 25	Parámetros Geomorfológicos de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca.....	111
Tabla 26	Estaciones cercanas a la subcuenca.....	112
Tabla 27	Características de la cuenca formada por el Huacarmayo .....	113
Tabla 28	Parámetros Geomorfológicos de la cuenca formada por el río Huacarmayo.....	115
Tabla 29	Características de suelo de la zona de interés .....	116
Tabla 30	Análisis de consistencia de datos .....	117

Tabla 31	Parámetros estadísticos para la estación Canchan.....	120
Tabla 32	Deltas para diferentes parámetros de distribución.....	121
Tabla 33	Valores de precipitación de acuerdo a la distribución seleccionada .....	122
Tabla 34	Intensidades de precipitación determinada .....	122
Tabla 35	Caudales determinados para la zona .....	123
Tabla 36	Caudales determinados para la zona .....	124
Tabla 37	Matriz de Consistencia .....	140
Tabla 38	Alturas de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca .....	143
Tabla 39	Hidrología de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca.....	143
Tabla 40	Pendiente de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca.....	143
Tabla 41	Alturas de la cuenca del río Huacarmayo .....	144
Tabla 42	Hidrología de la cuenca del río Huacarmayo.....	144
Tabla 43	Pendiente de la cuenca del río Huacarmayo .....	145
Tabla 44	Registro histórico de precipitaciones – Estación Canchan .....	145
Tabla 45	Registro histórico de precipitaciones – Estación Huánuco .....	146
Tabla 46	Registro histórico de precipitaciones – Estación Puente Taruca .....	147
Tabla 47	Registro histórico de precipitaciones – Estación Jacas Chico ...	148
Tabla 48	Registro histórico de precipitaciones – Estación San Rafael.....	149
Tabla 49	Registro histórico de precipitaciones – Estación Chaglla .....	150
Tabla 50	Análisis de consistencia de datos .....	151
Tabla 51	Datos acumulados de precipitación .....	152
Tabla 52	Precipitaciones de la estación seleccionada de Canchan .....	152
Tabla 53	Valores para la distribución Normal.....	153
Tabla 54	Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Normal .....	154
Tabla 55	Valores para la distribución Log-Normal.....	154
Tabla 56	Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Log-Normal .....	155
Tabla 57	Valores para la distribución Log-Normal 3 Parámetros .....	156
Tabla 58	Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Log-Normal 3 Parámetros.....	157
Tabla 59	Valores para la distribución Gumbel.....	157

Tabla 60	Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Gumbel .....	158
Tabla 61	Prueba Kolmogorov – Smirnov .....	158
Tabla 62	Precipitaciones máximas para la Distribución Log-Normal de 3 Parámetros .....	159
Tabla 63	Intensidad de precipitación para la metodología Dyck Peschke	159
Tabla 64	Intensidad de precipitación para la metodología Dyck Peschke-2... .....	159
Tabla 65	Intensidad de precipitación para la metodología Bell.....	160
Tabla 66	Determinación de caudales máximos por diversas metodologías ... .....	161
Tabla 67	Caudales determinados para el río Huacarmayo.....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo Hidrológico.....	34
Figura 2	Secuencia de análisis de datos .....	36
Figura 3	Estaciones hidrométricas en la nación .....	37
Figura 4	Modelo hidrológico simple .....	38
Figura 5	Clasificación de cuencas por su salida .....	39
Figura 6	Componentes de la cuenca .....	40
Figura 7	Ramificación de una cuenca.....	42
Figura 8	Extensión media de escorrentía superficial .....	43
Figura 9	Sinuosidad de corrientes de agua .....	44
Figura 10	Curva hipsométrica relacionada con la edad del río .....	46
Figura 11	Tipos de pendiente .....	48
Figura 12	Cuenca hidrográfica con curvas de nivel .....	49
Figura 13	Cuenca hidrográfica con curvas de nivel .....	49
Figura 14	Curva granulométrica .....	50
Figura 15	Lluvia convectiva .....	51
Figura 16	Lluvia orográfica .....	51
Figura 17	Lluvia ciclónica.....	52
Figura 18	Pluviograma.....	53
Figura 19	Polígono de Thiessen .....	55
Figura 20	Mapa de isoyeta .....	56
Figura 21	Hietograma .....	58
Figura 22	Curva masa .....	59
Figura 23	Algoritmo de selección de distribución teórica .....	60
Figura 24	Ajuste gráfico con función densidad .....	62
Figura 25	Ajuste gráfico con función acumulada .....	63
Figura 26	Curva IDF .....	71
Figura 27	Flujo en canales abiertos.....	79
Figura 28	Clasificación de flujo .....	81
Figura 29	Esquemas de flujo .....	82
Figura 30	Esquema de representación de cauce .....	87
Figura 31	Relación de control de inundaciones con sistemas naturales y socioeconómicos .....	94

Figura 32 Efectos de un dique .....	94
Figura 33 Subcuencas a partir de puntos de control .....	109
Figura 34 Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca.....	110
Figura 35 Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca isoyetas.....	112
Figura 36 Cuenca formada por el río Huacarmayo.....	113
Figura 37 Polígono de frecuencia y curva hipsométrica cuenca formada por el río Huacarmayo.....	114
Figura 38 Cobertura vegetal .....	115
Figura 39 Precipitaciones máximas en la estación Canchan.....	116
Figura 40 Precipitaciones máximas de las estaciones consideradas .....	118
Figura 41 Análisis de doble masa para las estaciones .....	118
Figura 42 Histogramas de precipitaciones máximas en 24 hrs.....	119
Figura 43 Histogramas de precipitaciones mínimas en 24 hrs .....	119
Figura 44 Histogramas de precipitaciones promedio en 24 hrs .....	119
Figura 45 Curvas IDF .....	123
Figura 46 Mapa de área de estudio .....	124
Figura 47 Mapa de curvas de nivel.....	125
Figura 48 Mapa de modelo de elevación.....	125
Figura 49 Mapa de inundación TR=10 años.....	126
Figura 50 Mapa de inundación TR=50 años.....	126
Figura 51 Mapa de inundación TR=100 años.....	127
Figura 52 Mapa de inundación TR=500 años.....	127
Figura 53 Prediseño de la defensa ribereña en el software River .....	128
Figura 54 Diseño final de la defensa ribereña en el software River.....	129
Figura 55 Perfil de la defensa ribereña en el software River .....	129
Figura 56 Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca .....	144
Figura 57 Precipitaciones máximas – Estación Canchan.....	146
Figura 58 Precipitaciones máximas – Estación Huánuco .....	147
Figura 59 Precipitaciones máximas – Estación Puente Taruca.....	148
Figura 60 Precipitaciones máximas – Estación Jacas Chico .....	148
Figura 61 Precipitaciones máximas – Estación San Rafael.....	150
Figura 62 Precipitaciones máximas – Estación Chaglla .....	151
Figura 63 Precipitaciones expresadas en logaritmo .....	153

Figura 64 Distribución Normal .....	154
Figura 65 Distribución Log-Normal .....	155
Figura 66 Distribución Log-Normal 3 Parámetros.....	157
Figura 67 Distribución Gumbel .....	158
Figura 68 Curva IDF – Metodología Dyck Peschke .....	160
Figura 69 Curva IDF – Metodología Bell.....	160
Figura 70 Entrada al área de investigación a realizar por el tesista.....	163
Figura 71 Perfil del cauce del río Huacarmayo en la actualidad, ambos márgenes del río se encuentran desprotegidos ante crecidas del río Huacarmayo en épocas de lluvia.....	163
Figura 72 Tesista dentro del cauce del río Huacarmayo.....	164
Figura 73 Tesista tomando los puntos con GPS para la realización del levantamiento topográfico.....	164
Figura 74 Posibles zonas afectadas ante la crecida del río Huacarmayo, área de cultivos (margen izquierdo), malecón y estadio municipal del distrito de Huácar (margen derecho).....	165

## RESUMEN

Esta investigación se elaboró en la zona de Viray en río Huacarmayo, zona en la cual se pudo identificar que se podrían generar inundaciones en los márgenes del río Huacarmayo, se tomó en cuenta para la investigación un tramo del río Huacarmayo el cual comprende a la localidad de Viray en la zona de Huácar. De esta zona se elaboraron modelos digitales de terreno en las cuales se identificaron la cuenca y subcuenca a la cual pertenece el río Huacarmayo con la finalidad de estimar los parámetros hidrológicos de la zona; este modelo se logró a partir de un levantamiento topográfico de la zona y con la ayuda de imágenes satelitales se pudo elaborar un modelo específico para la sub cuenca en la cual se encuentra el río Huacarmayo, tomando en cuenta como punto de aforo el punto donde inicia la localidad de Viray se pudo estimar que la sub cuenca cuenta con un área de 97.28 km<sup>2</sup> y un perímetro de 61.3 km, con una pendiente promedio de 36.88% y un factor de forma de 0.53 teniendo una denominación de amplia; se elaboró un modelo hidrológico que tomó en cuenta a las estaciones de Canchán, Huánuco, Puente Taruca, Jacas Chico, San Rafael y Chaglla; dichas estaciones son las más cercanas a la zona de interés al río Huacarmayo, identificada las estaciones cercanas y sus coordenadas de ubicación de los servidores del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se elaboró un modelo de isoyetas para la estimación de precipitación en la zona de interés con la cual se elaboró análisis de consistencia y de valores estadísticos para las 6 estaciones determinándose así que la estación más adecuada a la zona y con una mayor consistencia de valores es la de Chaglla, a la cual se le aplicó los estadísticos de distribución obteniéndose un valor de delta teórico de 0.0688 siendo este el valor menor de estadístico que se ajusta mejor a la serie de datos obtenidos de precipitación, a partir de esta determinación de distribución se pudo estimar un valor de precipitación máxima anual para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250 y 500 años obteniéndose 160.52, 211.93, 233.47 y 246.04 mm respectivamente y con dichos valores de precipitación se aplicó modelos matemáticos para la estimación de caudales a partir de 3 metodologías las cuales fueron Método Racional, Método de Mac Math y Método de Mac Math con Dyck Peschke, estimando así valores promedios y

ajustados a la realidad de la zona de interés, con ello se pudo estimar que los valores de caudal crítico comprenden los valores de 682.230, 947.421, 1001.328, 1185.418, 1315.620, 1515.437 y 1745.804 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250 y 500 años respectivamente; se elaboró un modelo hidráulico de la zona a partir de los valores de caudal de diseño estimado en la hidrología de la zona para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250 y 500 años con ello se pudo identificar de manera grafica las zonas con más riesgo frente a inundaciones, con ello se pudo observar que la zona directamente afectada es la localidad de Viray que se ubica en el margen derecho del río Huacarmayo y finalmente con las zonas críticas frente a inundaciones identificadas se pudo plantear ,a partir de las características de caudal, una estructura de encauzamiento y protección para las zonas críticas con el fin de evitar que el agua se desplace a zonas urbanas y generen pérdidas humanas y económicas en la zona, del diseño final de la estructura de encausamiento se determinó que la altura del dique debe estar en 4.00 m, la altura del enrocado debe ser de 1.60 m, altura de uña de 4.70m, sin un borde libre, con un talud de 2.00 y un ancho de uña de 7.00 m. A partir de todo el proceso se pudo concluir de la investigación. La zona más propensa a una inundación es la zona del margen derecho del río Huacarmayo en donde se asienta la población de la localidad de Viray, siendo esta la principal zona donde se plantean las estructuras predimensionadas y que soportaran un caudal extremo frente a una precipitación anómala, para el predimensionamiento de la estructura de encausamiento se aplica la metodología del software River que automatiza y garantiza valores de dimensionamiento adecuados para el encausamiento de los valores de caudal críticos de la zona y con ello resguardar a la población de sus posibles efectos dañinos.

**PALABRAS CLAVE:** Inundación, simulación, cuencas hidrográficas, río Huacarmayo, HEC-RAS, ArcGIS, River, defensa ribereña, muros de enrocado.

## ABSTRACT

This investigation was carried out in the Viray area in the Huacarmayo river, an area in which it was possible to identify that flooding could be generated on the banks of the Huacarmayo river, a section of the Huacarmayo river which includes the town was taken into account for the investigation. Viray in the Huácar area. From this zone, digital terrain models were elaborated in which the basin and sub-basin to which the Huacarmayo river belongs were identified in order to estimate the hydrological parameters of the zone; This model was achieved from a topographic survey of the area and with the help of satellite images it was possible to develop a specific model for the sub-basin in which the Huacarmayo River is located, taking into account the point where it begins as the gauging point. In the town of Viray, it was possible to estimate that the sub-basin has an area of 97.28 km<sup>2</sup> and a perimeter of 61.3 km, with an average slope of 36.88% and a shape factor of 0.53, having a wide denomination; a hydrological model was developed that took into account the stations of Canchán, Huánuco, Puente Taruca, Jacas Chico, San Rafael and Chaglla; Said stations are the closest to the area of interest to the Huacarmayo River. The nearby stations and their location coordinates were identified from the servers of the National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI), an isohyet model was developed to estimate precipitation. in the area of interest with which analysis of consistency and statistical values for the 6 stations was developed, thus determining that the most appropriate station for the area and with a greater consistency of values is that of Chaglla, to which the distribution statistics, obtaining a theoretical delta value of 0.0688, this being the lowest statistical value that best fits the series of precipitation data obtained, from this distribution determination it was possible to estimate a maximum annual precipitation value for the periods of return of 10, 50, 100, 250 and 500 years obtaining 160.52, 211.93, 233.47 and 246.04 mm respectively and with said values of precipitation, mathematical models were applied for the estimation of flows from 3 methodologies which were the Rational Method, the Mac Math Method and the Mac Math Method with Dyck Peschke, thus estimating average values and adjusted to the reality of the area of interest, With this, it was possible to estimate that the critical flow values

comprise the values of 682,230, 947,421, 1,001,328, 1,185,418, 1,315,620, 1,515,437, and 1,745,804 m<sup>3</sup>/s for the return periods of 10, 50, 100, 250, and 500 years, respectively; A hydraulic model of the area was elaborated from the values of the design flow estimated in the hydrology of the area for the return periods of 10, 50, 100, 250 and 500 years, with this it was possible to graphically identify the areas. with more risk from floods, with this it was possible to observe that the area directly affected is the town of Viray, which is located on the right bank of the Huacarmayo river and finally with the critical areas against floods identified, it was possible to raise, from the flow characteristics, a channeling and protection structure for critical areas in order to prevent water from moving to urban areas and generate human and economic losses in the area, from the final design of the channeling structure it was determined that the height of the breakwater must be 4.00 m, the rockfill height must be 1.60 m, toe height 4.70 m, without a free edge, with a slope of 2.00 and a toe width of 7.00 m. From the whole process it was possible to conclude the investigation. The area most prone to flooding is the area on the right bank of the Huacarmayo River where the population of the town of Viray settles, this being the main area where the pre-dimensioned structures are raised and that will withstand an extreme flow in the face of abnormal rainfall. , for the pre-dimensioning of the prosecution structure, the River software methodology is applied, which automates and guarantees adequate sizing values for the prosecution of critical flow values in the area and thereby protects the population from its possible harmful effects.

**KEY WORDS:** Flood, simulation, hydrographic basins, Huacarmayo River, HEC-RAS, ArcGIS, River, riparian defense, riprap walls.

# INTRODUCCIÓN

Siendo los eventos de inundaciones y desbordes de río uno de los principales factores que generan riesgo en una población que habita en las cercanías de un río, esta investigación determinó para la zona del río Huacarmayo las áreas inundables que se pueda dar a partir de una crecida anómala de su caudal a causa de precipitaciones anómalas que se presenten en la zona con la finalidad de proponer estructuras de defensa ribereña en los márgenes de dicho río. Esto pues se logró a partir de la determinación de características hidrológicas, hidráulicas y de suelo que se presenten en la zona de interés. Para ello en el CAPÍTULO I se planteó la problemática de la zona, así como también los objetivos que se establecieron para la realización de esta investigación, adicionalmente a ello se plantearon las limitaciones y viabilidades de la investigación. En el CAPÍTULO II se fundamentaron las bases teóricas que serán de utilidad para la formulación y desarrollo de la investigación, así como también una serie de investigaciones anteriores que se relacionan con el tema de defensas ribereñas e inundaciones, así como sus efectos, definida la teoría se planteó la hipótesis la cual se quiere determinar su veracidad o falsedad y las variables que acompañan a esta investigación. En el CAPÍTULO III se plantearon las bases metodológicas y los lineamientos que se seguirán para la recolección de datos como la determinación de la población y muestra para el cual se estuvo investigando, esto pues se presentó junto con los tipos de métodos que se toman para la recolección, procesamiento e interpretación de los datos de relevancia para la investigación. En el CAPÍTULO IV se presentaron los resultados de la hidrología, simulación y determinación de dimensiones para la estructuración de las edificaciones de encausamiento que se consideraron pertinentes para la zona de interés. En el CAPÍTULO V se presentó la discusión de los resultados a partir de la información obtenida dentro de los resultados y como termina influyendo en el objetivo final que fue el diseño de las defensas ribereñas, adicionalmente a ello se incluyeron las conclusiones y recomendaciones que se originaron a partir del proceso y los resultados que se obtuvieron.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las inundaciones y desbordes de ríos con sus respectivas consecuencias influyen y afectan directamente a la sociedad civil como a las entidades gubernamentales de una gran diversidad de países, estas se caracterizan por una geografía y características climáticas, lo cual se ve evidenciado en los Reportes Mundiales de Desastres de la Cruz Roja Internacional, en el cual se pudo identificar que alrededor del 50% del total de fenómenos naturales que se suscitan a nivel mundial entre los años 2010 y 2019, los cuales afectaron alrededor de 673 000 000 personas que fueron afectadas. Para el primer semestre del 2019 se pudo observar que las afectaciones a causas de las inundaciones se calculaban alrededor de los 33 millones de francos suizos. Alrededor de los 17 millones de personas corren riesgo de verse desplazadas por efectos de las inundaciones, alrededor del 80% de estas reside en zonas urbanas o periurbanas. Dicho efecto adicionado a el nivel de pobreza da rasgos de la población de que con mayor frecuencia las personas con bajos recursos están habitando zonas de riesgo con un bajo nivel de mitigación frente a este riesgo. (La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2020)

En específico para América Latina los efectos del fenómeno “El Niño” el cual causa precipitaciones anómalas que provocan inundaciones en algunos países de América del sur, En la costa de Ecuador y Perú, las precipitaciones que fueron más de 10 veces superiores a los niveles normales provocaron inundaciones y erosiones y destruyeron infraestructuras. Se extinguió la captura de anchoas debido al calentamiento de la termoclina, zona habitualmente fría, rica en nutrientes que apoya a las principales pesquerías. El Gobierno de Perú estimó que el episodio de El Niño producido en 1997/1998 costó unos 3 500 millones de dólares de Estados Unidos, o lo que es lo mismo, un 5% de su producto interior bruto. (Organización Meteorológica Mundial, 2017)

Para la localidad de Huánuco se logró identificar en total 23 zonas vulnerables a inundaciones y erosiones teniendo principal énfasis en los ríos

Huacrachuco, Vizcarra y quebradas en total se pudo ver que el riesgo que se presenta es para alrededor de 409 hectáreas, para algunas zonas se plantearon estructuras de protección las cuales pueden ser valorizadas en alrededor de S/.8 580 285 estas estructuras ayudarán a mitigar efectos de inundaciones para la zona. (Autoridad Nacional del Agua, 2017)

En el distrito de Huácar en la región de Huánuco, se pudo identificar que en los periodos de diciembre a enero hay presencia de lluvias intensas los cuales serán los factores detonantes de eventos naturales de riesgo, en específico centrándonos en la zona de Viray se pudo evidenciar alertas de riesgo frente a inundaciones debido a la cercanía del centro urbano al río Huacarmayo que es tributario al río Huallaga, dicho río presenta una crecida de caudales en los meses de noviembre a abril época en donde las precipitaciones incrementan y el caudal puede desbordar a las zonas marginales del río Huacarmayo, se estima que la probabilidad de que el día sea mojado es del 20% en estas épocas siendo esta temporada en la cual la población se encuentra expuesta a inundaciones debido a que la zona no cuenta con una defensa ribereña en los márgenes del río, de la zona se pudo identificar que en la zona marginal al río se encuentran un total de 150 viviendas y alrededor de 5 ha de cultivos la cual sirve de pilar económico para la población circundante ocasionando pues una vulnerabilidad económica si en caso se pusiera en riesgo dichos cultivos. Es a partir de ello que se genera la necesidad de diseñar desde la perspectiva estructural muros de encausamiento y protección en la zona asegurando así la seguridad y tranquilidad de la población que habita las periferias del río Huacarmayo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿De qué manera la aplicación del software River y su metodología logran diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación en el cauce del río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco?

### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO**

¿Cómo afectan los valores hidrológicos en la socavación generado por el río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco?

¿De qué manera se calculan los valores de caudal máximo para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200, 500 años para el planteamiento de una defensa ribereña?

¿Cuál es el diseño más adecuado de la defensa ribereña que soporte las avenidas máximas en el río Huacarmayo?

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Estimar en qué medida la aplicación del software River y su metodología logran diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación en el cauce del río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar como afectan los valores hidrológicos en la socavación generado por el río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco.

Calcular los valores de caudal máximo para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250, 500 años para el planteamiento de una defensa ribereña.

Proponer el diseño más adecuado de la defensa ribereña que soporte las avenidas máximas en el río Huacarmayo.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El presente proyecto se realizó mediante las ecuaciones empíricas y las que aplique el software River en su cálculo de protección de defensas ribereñas, del cual se propuso planteamientos de protección estructural ante el desborde del río Huacarmayo.

### **1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Esta investigación se planteó a partir de una necesidad en la zona de identificar y mitigar las zonas de inundación, de los resultados que se obtengan se pudo plantear soluciones estructurales para las zonas de inundación causados por el desborde del río Huacarmayo la cual se lleva a cabo a partir del uso de tecnologías específicas en el tratamiento hidrológico y planteamiento estructural.

### **1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La elaboración del proyecto de investigación se realizó a partir del uso del software HEC-RAS del cual se lograron determinar modelamientos hidráulicos del río cual se investiga, de la misma manera se planteó el uso del software River a partir del uso de sus metodologías estadísticas para la determinación de las alturas de socavación para el posterior diseño de las estructuras de protección.

## **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de esta investigación se presentaron lo siguiente:

- Falta de información meteorológica por parte de las instituciones estatales.
- Disponibilidad de estudios de suelo previos para la determinación de las características de la zona.

## **1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se consideró viable debido a que la disponibilidad de recursos para la elaboración de ponderaciones en la zona de investigación, los valores que se requieren si bien no se presentan en específico para la zona, estas sirvieron como información de interpolación para la zona. El tiempo que se requirió para la investigación y recolección de datos si bien no es de corta duración se pudo realizar dentro de los plazos establecidos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

A partir de una exhaustiva investigación de información en bases de datos que cuentan con libros virtuales, físicos, páginas de acceso para la información, se pudo recopilar una serie de investigaciones y/o artículos que están ligados al tema de investigación del presente proyecto, los cuales se presentan:

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Según Arcos et al. (2018) en su artículo “Obras de protección contra inundaciones” realizado en el estado de Guerrero en México, este trabajo tiene como finalidad el de describir los conceptos fundamentales con respecto al funcionamiento y normas para el diseño y construcción de obras de protección ante eventos de inundaciones. Definen y dan a conocer que las zonas con un más alto riesgo a inundaciones son las que tienen un forma plana y que presenten en su topografía una pendiente fuerte, para ello se plantean diferentes estructuras para obras de protección, como puede ser “Obras de protección emergente”, estas obras nacen a partir de la necesidad de retener los caudales de forma rápida y eficaz, como por ejemplo: Bordos; este tipo de estructuras son formados a partir de la arcilla con forma de terraplenes, esta tiene la finalidad de proteger las zonas de riesgo con el incremento del caudal, pero estas presentan un obstáculo para despejar el agua que se acumula dentro de ella, para eso se tiene que plantear medidas de drenaje adecuadas para la estructura. Cauces de Alivio; desviar los caudales que haga que no se desborde el río, pero esto tiene que ser desviado a un cuerpo de agua predefinido, se tiene que tener en cuenta la capacidad de recepción de caudales donde será desviado el volumen de agua. Cajones de Piedra y Madera; Atados de Fibra de Coco; Miniespigones; Desvíos Temporales; Cortes de Meandros; todas estas están basadas y adecuadas para cada caso

específico en el cual tenga un uso específico óptimo ya que los eventos de inundaciones se presentan en diversos puntos y por diferentes causas. Dentro de las medidas de protección también están categorizadas como “Obras de protección especiales”, dentro de ellos se tienen los: Muros de Encauzamiento, son prácticamente muros verticales, estos tipos de estructuras se usan en general en zonas bajas realizadas a partir de concreto armado, gaviones o mampostería todas ellas dependientes del diseño estructural, funcionan de manera similar a los bordos. Espigones; este tipo de estructura sirve de protección contra efectos de erosiones dentro de los cauces del río, así también sirve como facilitador de los sedimentos se depositen dentro de ellos; entre muchas otras especificadas. La investigación concluye con los siguientes puntos; la importancia de tener que aprender a convivir con los eventos de inundaciones, ya que estos se pueden mitigar con las medidas estructurales planteadas pero no se eliminan por completo; A partir de las determinaciones de las estructuras adecuadas a ser utilizadas se tienen que tomar medidas complementarias para lograr controlar los efectos negativos que se tengan por efectos de la inundaciones dentro de las cuales se tienen que considerar una caracterización general para el uso del suelo en el área de investigación al cual se pretende estudiar y analizar, plantear sistemas de alerta y control anticipada es vital para el fomento de acciones enfocadas directamente a las zonas urbanas las cuales se ven comprometidas a los efectos negativos de las inundaciones. Finalmente, el artículo plantea que para la caracterización del peligro para su posterior planteamiento de obra de protección se tiene que tomar en cuenta todas las variables que afecten al área de estudio, por ejemplo, dentro de ellas se puede considerar la hidroclimatología, para poder obtener un registro histórico confiable y representativo para lograr caracterizar una mejor proyección de datos.

Según Ávila et al. (2019) en su artículo de investigación titulada “Análisis del efecto del humedecimiento en la estabilidad de un bordo del río Grijalva, en el estado Tabasco” este artículo tiene como objetivo

analizar el estado de evolución con relación a la estabilidad de los bordos causados por el cambio del grado de saturación que se presenta en el suelo, para esto se hizo un análisis de saturación del suelo para determinar el porcentaje de saturación que genera un estado de falla, esto según el artículo se determinó como el 70% la cual genera un riesgo alto, para se puede plantear sistemas de prevención. Para lo cual los autores obtuvieron las siguientes conclusiones; presentado la situación climatológica en el estado de Tabasco los meses en los cuales la incidencia de lluvias en la zona se da por alrededor de los meses de junio a noviembre. Estos datos se relacionan de manera directa con los eventos de fallas en los bordos del río que llegan hasta las periferias de la capital del estado de Tabasco. Para la zona conocida como “La Manga” se pudo determinar que el nivel de humedecimiento en la zona es uno de los factores principales que generen su inestabilidad, se tuvo en cuenta en la investigación que, al aumentar el grado de saturación de la zona, el factor de seguridad disminuye con la misma magnitud hasta llegar al punto de falla. Se pudo determinar que a partir de un estudio de precipitaciones y el análisis del suelo en sus componentes de saturación se puede prever la falla de los taludes en las riberas de los ríos. Finalmente, la investigación plantea que debido a que las características de suelo no son las misma a lo largo del cauce del río necesariamente se tiene que realizar el proceso de manera iterativa para cada uno de los tramos del río sometido a investigación en la localidad de Tabasco.

Según Pérez (2020) en su tesis para obtener el grado de Ingeniero civil, titulado “Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección ante inundaciones provocadas por el río Motagua en el caserío Buena Vista, Municipio de Morales, Izabal”. El investigador plantea como objetivo principal el de realizar el estudio hidrológico para el planteamiento de obras de protección ante inundaciones que se generen por el río Motagua en el caserío Buena Vista; del cual el investigador concluyó que para un periodo de retorno de 25 años se generan los eventos de inundación esto debido a que el caudal

aproximado para el río es de  $3377.80\text{m}^3/\text{s}$ , se presentó una propuesta factible de protección esto a partir de simulaciones realizadas con softwares especializados para la materia, cada una de las propuestas se llevaron al software para la realización de la corroboración de que el diseño soporte los niveles de caudal en los periodos de retorno calculados asegurándose de que no haya la existencia de llanuras de inundación. Los planteamientos de protección fueron los siguientes: Bordas, Espigones, etc. Finalmente, cada obra de protección es replanteada con ayuda del software HEC-RAS para la corroboración de la estructura en cada diferentes periodos de retorno ya previamente calculados.

Según Estupiñán (2020), en su trabajo de investigación titulado “Encauzamiento de ríos procedimiento de cálculos y su análisis” para optar el título de ingeniero civil, plantea como objetivo principal caracterizar teorías, métodos y procesos que involucran técnicas para el encauzamiento de los ríos, de manera paralela se analizar parámetros de morfología, diversidad de lechos, estudios granulométricos, estudios hidrológicos, entre otros. Donde se harán la realización de estructuras para un fin determinado. Del cual el investigador concluyó que los encauzamientos de ríos se relacionan de manera directa con la aplicación de diversas metodologías para el cálculo y análisis que se fundamentan y apoyan en los parámetros físicos que finalmente se puede aplicar. Las obras de encauzamiento ya sean de manera parcial o total tendrá como resultado un entorno de estabilidad, seguridad y reforzamiento para los cauces que tenga un río determinado, estos tendrán la finalidad de aliviar el nivel de caudal que se genere en el río a causa de eventos proyectados. Previo al planteamiento de una estructura de encasamiento es necesario realizar un estudio hidrológico competente a partir de parámetros determinantes con la finalidad de que este tipo de obras puedan abarcar zonas de inundación determinadas y que estas tengan una característica de estabilidad en las riberas de los ríos. Característicamente desde el punto de vista geomorfológico, los ríos

formados en llanuras tienen la categorización de menos estabilidad, esto a causa de los sedimentos que se arrastran, comparados pues con los ríos de montañas que estas presentan un menor arrastre de sedimentos; estas características presentes en los ríos, hace que para el planteamiento de los encauces se presenten diferentes características en su proyección. Finalmente, se pudo identificar que para los ríos en su parte inferior (aguas abajo) se presente un flujo constante que a su vez va modificando las características de la geometría, sinuosidad, cauce y también una reducción de pendiente.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Según Asencios et al. (2021), en su trabajo de investigación para obtener el grado de bachiller en ingeniería civil, titulado “Propuesta de defensa ribereña utilizando el programa River para reducir los daños de socavación e inundación en el tramo puente Los Ángeles del Río Rímac”, plantean como objetivo el de diseñar una propuesta para defensa ribereña a partir del modelado en el software River, para lograr la reducción de riesgos debido a inundaciones y socavaciones provocados por precipitaciones anómalas suscitadas eventualmente en el periodo denominado “Fenómeno del Niño” en el distrito de Chaclacayo en la región de Lima, de la cual los tesisistas concluyeron que: Se logró diseñar de manera exitosa una estructura de defensa ribereña modelada a partir del software River, específicamente se logró modelar un muro enrocado en la zona de investigación, esta logra mitigar los efectos de inundación y mitigación en la zona del río Rímac que se sometió a investigación; De la misma manera se realizó un análisis hidrológico a partir de las precipitaciones obtenidas y medidas en las estaciones cercanas para el área de investigación, toda esta información se obtuvo de las bases de datos del SENAMHI y la ANA, de los datos obtenidos se realizaron proyecciones estadísticas de las cuales los resultados que se obtuvieron fueron los de  $381.382 \text{ m}^3/\text{s}$  esto determinado con el análisis estadístico de Log-Normal, para el método de Gumbel se obtuvo un valor de caudal de  $360.796 \text{ m}^3/\text{s}$  y por el

método de Pearson III se logró determinar un caudal de 388.805 m<sup>3</sup>/s, de los resultados obtenidos se consideró como el más relevante y por ende el valor para los cálculos el del método de Pearson III ya que fue el mayor de todos los obtenidos y por ende se tendrá una mayor seguridad para el diseño. De los valores obtenidos para el diseño de la defensa ribereña y con ayuda del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje planteada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, y el software especializado en el tema River se determinó que la cimentación para la defensa ribereña es de 1.60m esta pues ayudará a mitigar también los efectos de socavación que se calculó que es de una altura aproximada de 1.54m en los tramos considerados para la investigación. De la misma manera ya determinado que el muro será de tipo enrocado se plantea con ayuda del software River las medidas de diseño de la misma, las cuales fueron de 5.80m en altura total, 1.60m de altura de uña con un borde libre de 1.00m, un talud de 0.50, ancho de uña de 2.40m y el ancho del enrocado pueden variar de 1.20m en la parte superior y 1.60 en la inferior, todos estos valores fueron diseñados para mitigar los efectos de las avenidas máximas que se generan en el río Rímac para la temporada de lluvias extremas en el tramo de puente Los Ángeles. Finalmente, los investigadores determinaron, que la obra se realizará con un presupuesto en promedio de 50'638.31 soles, esto a partir de los cálculos realizados en el software S10 y MS Project, con un tiempo aproximado de ejecución de 10 hábiles, el corto tiempo de ejecución explican se debe a que solo se diseñaron alrededor de 80 mls del muro enrocado; sin embargo, si el estudio abarcara un área mayor esta se vería reflejada tanto en el presupuesto como en el tiempo de ejecución de la misma.

Según Ticona (2018), en la tesis titulada “Estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu del distrito de Patambuco, provincia de Sandia – Puno” para optar el título de ingeniero civil, propone como objetivo de la investigación analizar y elaborar un estudio hidrológico para el río Patambuco y así

poder lograr elaborar un diseño de defensa ribereña para las amenazas de derrumbe en la zona debido a las crecidas del río que se está investigando. La investigación se justificó a partir de que en la zona se presentan recurrentes eventos de avenidas las cuales fueron caracterizadas en la investigación, para ello se desarrollaron estudios hidrológicos de la zona tomadas a partir de las precipitaciones máximas de 24hrs obtenidas en la base de datos del SENAMHI para las estaciones cercanas al área de estudio, realizándose también una caracterización de la cuenca a la cual pertenece el río de investigación estas actividades se realizaron con el software ArcGis. Para el modelamiento hidráulico se tomó en cuenta el software Hec GeoRAS para poder determinar los niveles máximos de agua que se presenten en situaciones de proyección, considerando los efectos del agua que tengan en las riberas del río se tomó pertinente tener en cuenta el efecto de socavación esto abordado desde la metodología de Lischvan-Levedliev para determinar la altura a la cual hará efecto la socavación en la zona. Realizado todas las actividades de caracterización y determinación de la zona se procede a evaluar y plantear las posibles soluciones que puedan ayudar a mitigar los efectos, de ellos se pudo determinar que la estructura más adecuada para la zona son las defensas ribereñas de enrocado y muro gavión. El investigador concluyó lo siguiente: Para la caracterización de la cuenca se hizo uso de las cartas nacionales elaboradas por los sistemas estatales de acuerdo a ello se pudo determinar que la cuenca tiene un área de 469.57 km<sup>2</sup> y la microcuenca 35.74 km<sup>2</sup> estos valores serán de gran importancia para la caracterización hidrológica de la zona de investigación. Para la caracterización hidrológica del río se obtuvieron resultados para diferentes periodos de retorno los cuales son de 50, 100, 200 y 500 años para las cuales se lograron obtener los niveles de caudales respectivos los cuales fueron 140, 166, 192, 231 m<sup>3</sup>/s. Se toman en cuenta para el diseño de defensa ribereña según el ANA tomar un periodo de retorno de 100 años, dado los valores se procede a modelar el entorno en el software Hec GeoRAS de la cual se pudo determinar que la incidencia de inundación se da en ambos márgenes

del río por ello se determina el plantear las defensas ribereñas en ambos márgenes de la zona. Analizando el tipo de suelo a partir de un análisis granulométrico del cauce del río se determinó los valores de socavación en la zona para diferentes periodos de retorno los cuales fueron: 50, 100, 200 y 500 años de los cuales se obtuvieron los resultados de 1.16, 1.19, 1.25m para cada uno de los periodos de retornos planteados de las cuales estos valores sirven para plantear el diseño de la defensa ribereña. Finalmente, el investigador dio por adecuado el diseño de una defensa ribereña estructurado con enrocado y muros de gavión, esto debido a que la zona cuenta con la materia prima para la elaboración de estas estructuras, de la misma forma pues la inversión que se requiera para su edificación sería disminuida siendo pues la mejor opción estructural y económica para lograr mitigar los efectos de inundaciones que se presenten en la zona.

Según Sarabia (2018), en su investigación titulada “Aplicación del software River para el diseño de defensas ribereñas desde el Km 40+800 al 44+100, río Reque” la cual fue realizada para optar el título de ingeniero civil, esta tiene como objetivo principal el de aplicar la metodología que presenta el software River en el diseño de defensas ribereñas para el río Reque; la investigación la fundamentó a partir de la falta de obras que controlen y protejan las riberas del río reque ante inundaciones, que conllevan a un nivel de riesgo a las zonas agrícolas y urbanas que se presenten en las cercanías de los márgenes del río, del desarrollo de la investigación el autor concluyó los siguiente: Para la modelación del río Reque, se presenta en la orillas y en el cauce una material fino, se considera una erosión lateral considerable debido a la inexistencia de obras de protección y defensa ribereña, generando causas de áreas agrícolas. Para el tramo de estudio se presentan secciones meándricas, la longitud del cauce tiene una longitud de 3.30 km con una pendiente de 0.25%, el tipo de suelo que compone el tramo de estudio es de tipo SP, el peso específico es de  $2.07 \text{ Tn/m}^3$ , el ángulo de fricción interna es de  $30^\circ$  y un porcentaje promedio de humedad es de 9.23%. Para el diseño estructural la roca que se usó tiene un peso específico de  $2.61 \text{ Tn/m}^3$ . El río Reque pertenece a la cuenca Chancay-

Lambayeque, que a partir de los registros hidrográficos en las estaciones cercanas para los periodos 2006-2017 es de un valor estimado de 502.68 m<sup>3</sup>/s y el valor mínimo de 6.40 m<sup>3</sup>/s, en el caso particular para el caudal de diseño se obtuvo el valor de 580.15 m<sup>3</sup>/s con un periodo de retorno de 50 años con una vida útil de 20 años. El tirante calculado promedio en el tramo de estudio es de 2.54m, un espejo de agua de 90 m, presenta un talud promedio de 2 m, para un área hidráulica de 215 m<sup>2</sup>, perímetro mojado de 91.35 m, la velocidad promedio para el caudal es de 2.69 m/s, con un número de Froude de 0.54, el bordo libre de la zona es de 0.66 m, la rugosidad de Manning promedio para el tramo de estudio es de 0.033. Finalmente, de la caracterización del tramo de estudio se hizo uso del software River aplicando los valores hidrológicos y de mecánica de suelo, del cual se pudo determinar las características de los enrocados y/o espigones de acuerdo se requiera en la zona, del cual se pueda identificar los valores adecuados para el diseño.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. HIDROLOGÍA RELACIONADA CON EL PERÚ**

Uno de los principales indicadores en el Perú con respecto a la hidrología es la presencia de la escorrentía que se realiza año en año en cada parte del territorio nacional. Para ello se ha calculado que de las tres vertientes que posee el Perú poseen anualmente una escorrentía de 64 814.8 m<sup>3</sup>/s, esto pues representa aproximadamente el 5% de la escorrentía mundial. Cada vertiente tiene un volumen de escorrentía la cual se distribuye como se muestra en la Tabla 1, de los cuales también se tiene una disponibilidad aproximada de 51.17 km<sup>3</sup>/año. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2020).

**Tabla 1***Disponibilidad de recursos hídricos en Perú*

Vertiente	N° UH	Superficie		Población		Disponibilidad Hídrica (hm <sup>3</sup> )		
		Miles km <sup>2</sup>	%	%	%	Subterránea hm <sup>3</sup>	Total hm <sup>3</sup>	
Pacífico	62	279.7	21.7	65.98	2.02	2,849	38,841	
Atlántico	84	958.5	74.6	30.76	97.42	-	1'719,814	
Titicaca	13	47.0	3.8	3.26	0.56	-	9,877	
<b>TOTAL</b>	<b>159</b>	<b>1,285.2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>2,849</b>	<b>1'768,172</b>	

*Nota.* Tabla de recursos hídricos del Perú. Autoridad Nacional del Agua (2014)

De los datos de investigación se pudo determinar que la vertiente del Atlántico tiene la capacidad de trasvase de alrededor de los 9 km<sup>3</sup>/año para la vertiente del Pacífico.

Para las características fluviales del Perú se tiene conocimiento que:

- Para la costa cuenta con un sistema de abastecimiento de la población de las zonas industriales, energía, irrigaciones de plantíos y abastecimiento del agua subterránea a partir de los ríos que se encuentren en la zona. Característicamente los ríos de esa zona son de naturaleza torrencial con una fuerte pendiente y un recorrido corto, cuenta con descargas muy poco regulares y también tiene una capacidad alta de transporte de sólidos.
- Para la sierra los ríos que posee son característicamente contenidos en valles estrechos, tiene una gran capacidad de erosión, por la misma naturaleza de la geografía de la zona no se presentan zonas agrícolas en algunos sectores cercanos a las riberas de los ríos, pero si las características de este tipo de ríos hacen que tengan un gran potencial de aprovechamiento de energía.

- Para la sierra sus ríos tienen una capacidad de transporte de caudal alta, son naturalmente de una pendiente mínima con largos recorridos y con una inestabilidad considerable, por las mismas características estas tienden a variar su curso en todo el recorrido.

**Tabla 2**

*Distribución de Unidades hidrográficas*

REGION HIDROGRAFICA	SUPERFICIE		UH
	(10 <sup>3</sup> KM <sup>2</sup> )	(%)	
Pacífico	279,70	21,76	62
Amazonas	958,50	74,58	84
Titicaca	47,00	3,66	13
<b>Total</b>	<b>1285,50</b>	<b>100,00</b>	<b>159</b>

*Nota.* Tabla con distribución de unidades hidrográficas del Perú. Autoridad Nacional del Agua (2013)

Sabiendo también que alrededor del 99% del recurso hídrico está comprometido internacionalmente dado que en su totalidad las cuencas del Atlántico y del Titicaca; y una pequeña parte de la cuenca del Pacífico tienen un recorrido internacional; dado ello pues el Perú se define como un país aguas arriba o abajo dependiendo de la unidad hídrica que se quiera analizar.

### **2.2.2. HIDROLOGÍA Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL**

La relación existente entre la ingeniería y la hidrología tiene que ver con el planteamiento de diseños para las obras civiles; la ingeniería como ciencia tiene el objetivo de plantear soluciones ante requerimientos del entorno, claramente incluyendo del entorno a la sociedad. En el caso de la hidrología esta se encarga de la caracterización de cuerpos de agua y su comportamiento en diversos periodos temporales.

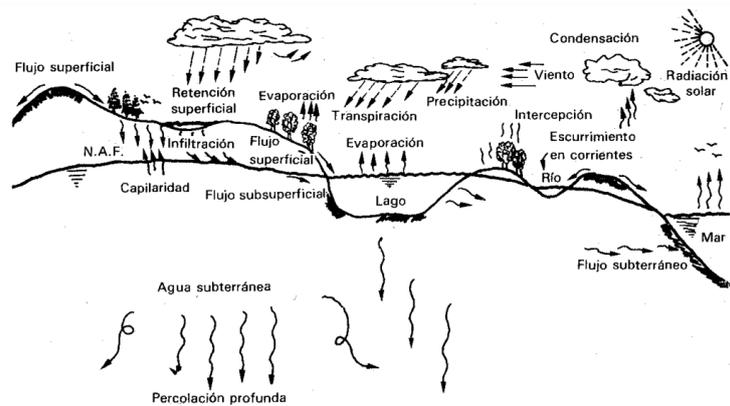
La presentación de proyectos hidráulicos se puede identificar de 2 maneras: Los referidos al uso del agua y los que se encuentran relacionados con la protección de daños ocasionados por el agua.

Dentro de las obras para el uso del agua se encuentran, redes de abastecimiento de agua potable para una zona, proyectos de irrigación y aprovechamiento hidroeléctrico, obras de navegación, recreación, entre otros que se relacionen. Para obras de defensa contra daños se encuentra, drenajes urbanos, viales y agrícolas; encausamiento de ríos; defensa de riesgo de inundación, entre otros. (Chereque, 1989)

### **2.2.3. CICLO HIDROLÓGICO**

Se define al ciclo hidrológico al proceso sin inicio ni fin, la cual puede ser descrita en cualquier punto de su proceso. Definimos pues así, el agua localizada sobre la superficie terrestre o cercana a ella sufre evaporación por efecto de los rayos solares que inciden sobre ella y/o también afectadas por el viento. Dicho vapor de agua se eleva y se moviliza por la amplitud de la atmosfera tomando la forma de nubes hasta que estas lleguen al punto de condensación y estas vuelven a la superficie terrestre en forma de precipitación. Durante este transcurso la precipitación de agua puede volver a evaporarse o ser absorbida por las plantas o algunos elementos externos, para luego esta fluir hasta terminar en las corrientes de agua cercana o terminar infiltrado en el suelo. Parte del agua que quedo absorbida, que terminó infiltrado en el agua y de las aguas que se trasladan en la superficie volverá a evaporizarse volviendo a generar un ciclo. Del líquido precipitado que termina en las corrientes de agua cercana, parte de ella será infiltrada y la otra parte llegará hasta océanos y otros cuerpos de agua de gran magnitud. Para el agua infiltrada, parte de ella es absorbida por la vegetación de la zona para su luego transpiración en gran parte de su volumen, está dirigida nuevamente hacia la atmosfera y la otra parte del agua infiltrada esta fluirá bajo la superficie hacia otros cuerpos de agua de gran magnitud o en caso contrario se almacenará como agua subterránea que en algún momento aflorará como manantiales, ríos o en los mares. (Aparicio, 1992)

**Figura 1**  
*Ciclo Hidrológico*



Nota. La gráfica presenta el ciclo hidrológico la cual rige los procesos de transporte de agua. Aparicio (1992)

#### **2.2.4. HIDROLOGÍA Y LAS PROBLEMÁTICAS PRESENTES**

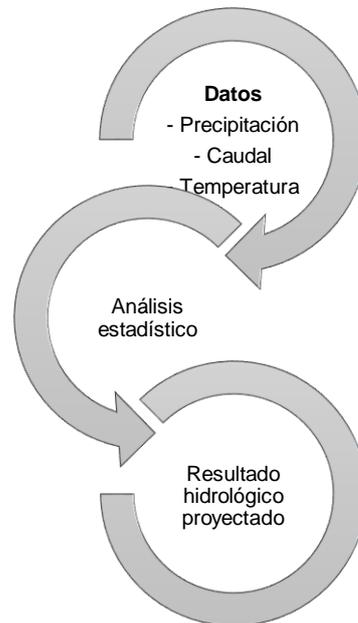
Debido a las deficiencias presentes en el país para la recolección y acumulación que generen una serie de base de datos fidedigna en pluviometría y hidrometría, esto a causa de que en la localización de las zonas se presentan una falta de equipos de medición o equipos con una deficiente calibración en la cuenca hidrográficas que se quiere determinar sus características, debido a ello se hace utilización de metodologías para que se pueda determinar los caudales críticos. A partir de la información que se disponga se elige la metodología más óptima para realizar los cálculos para la determinación del valor del caudal, a partir de ella se realizaran las verificaciones para el caso con observaciones directas para la zona de interés, por ejemplo, puede identificarse las marcas de las aguas en época de crecidas, de la misma manera se puede verificar el comportamiento de las obras que existen en la zona de investigación. Para obtener los valores con una alta representatividad, consistencia, extensión y calidad en los datos que son de importancia para el punto de partida para una investigación hidrológica, dado ello se plantea como recomendación recolectar de la base de datos un mínimo de información de 25 años de los registros históricos nacionales para la zona de intervención, dado esto, se puede lograr una predicción más acertada de eventos futuros con la finalidad

de que los valores determinados tengan un alto valor de confiabilidad. Se tiene que tener en cuenta para el estudio de investigación hidrológica los valores que se presenten en el fenómeno denominado “El Niño”, mucha de estas lecturas no se realiza debido a que los valores son extremadamente altos por las lluvias recurrentes que se presentan en dicho fenómeno, pero es importante tener en cuenta los valores para que no se generen un sobredimensionamiento en relación a las obras que se planteen para la zona. En conclusión, los valores de información hidrometeorológica y/o hidrológica fundamental para el planteamiento de las bases de investigación, debe ser representativa en la zona donde se harán los proyectos estructurales. (MTC, 2018)

Al intentar calcular una estimación de resultados hidrológicos proyectados, tiene mucha importancia partir de una amplia variedad de datos observados, estos tienen que ser sometidos a un análisis estadístico para luego intentar seleccionar una norma la cual gobierne al comportamiento de los sucesos hidrológicos. Dicho de otra manera, para los estudios de hidrología en gran parte de los casos se encontrará una gran cantidad de datos y el procesamiento de estos valores se harán desde una perspectiva estadística a partir de planteamientos de probabilidad de alguna ocurrencia. Generalmente, en los estudios de hidrología se pudo observar la individualidad de los eventos y estos en gran parte de veces no se pueden extrapolar a otras situaciones con diferentes características de entorno. (Villón, 2004)

## Figura 2

Secuencia de análisis de datos



Nota. La gráfica establece los parámetros secuenciales de análisis de datos de precipitaciones. Villón (2004)

## 2.2.5. ENTIDADES ENCARGADAS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS EN EL PERÚ

### 2.2.5.1. PISCO

La serie de datos hidrometeorológicos PISCO abarca toda la superficie del Perú, en ella también se puede conseguir información de las cuencas fronterizas al país. En esta base de datos se puede encontrar información grillada de las precipitaciones en el país, así como: la temperatura del aire, la evapotranspiración teniendo una resolución horizontal de  $0.1^\circ$  con un lapso de tiempo tomado día con día, actualmente se puede encontrar en esta base de datos una serie de simulaciones realizadas con un intervalo mensual de tiempo elaborada para toda la nación y se presenta en formatos tabulares. Los valores que se puedan obtener en esta base, son del periodo 1981 al 2016 esta con valores estables, pero con fines de investigación el SENAMHI ha realizado una actualización inestable que actualiza con una periodicidad

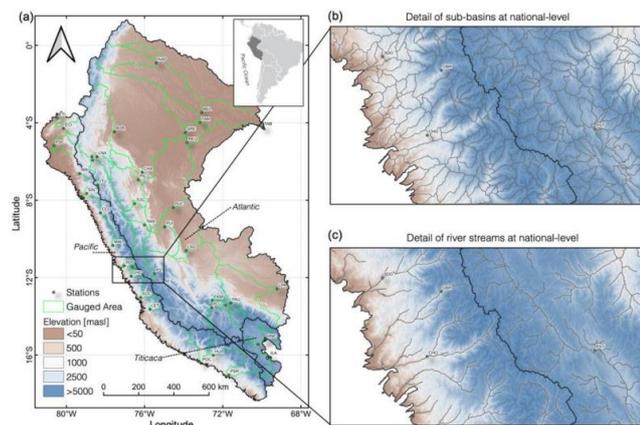
diaria que vienen a ser obtenidas a partir de: la base de datos pluviométricos del Perú pasados por un control de calidad, valores de climatología que se adicionan a indicadores de radar y de la base de datos denominada “Climate Hazards Group Infrared Precipitation”. Los valores que se obtengan se basan en la metodología de Hargreaves y Samani, toda la información brindada en este servidor se puede obtener de manera gratuita en la página web. (SENAMHI, 2021)

### 2.2.5.2. CAUDALES MEDIOS DIARIOS

El Perú cuenta con 43 estaciones hidrométricas que hacen un registro diario de caudales, en gran parte de ellas están bajo el control del SENAMHI, para la zona de las amazonas se tiene un control del SENAMHI y el Instituto Francés para el Desarrollo Sostenible planteado en las proyecciones del HYBAM, la distribución de las estaciones que se encuentran a nivel nacional se muestra en la Figura 3. (SENAMHI, 2021)

**Figura 3**

*Estaciones hidrométricas en la nación*



Nota. Elaboración del esquema de estaciones hidrométricas en el Perú. SENAMHI (2021)

Para esta investigación se tendrá en cuenta la información brindada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Para el caso de que no se encuentren valores en la zona de estudio se reunirá información de otras entidades estatales con una

potestad dentro del recurso hídrico del país, con los debidos requerimientos de verificación de veracidad en la toma de valores que se requieran.

## 2.2.6. CUENCA HIDROGRÁFICA

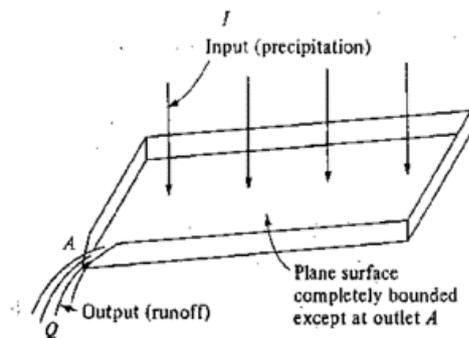
### 2.2.6.1. CONCEPTUALIZACIÓN

La definición de una cuenca hidrográfica se plantea como un área topográfica, que se drena a partir de un curso de agua o por un sistema que se conecta a cursos de agua, ya que en gran parte del caudal afluente se disgrega por una salida simple. (Monsalve, 1999)

**Figura 4**

*Modelo hidrológico simple*

$$I - Q = \frac{dS}{dt}$$



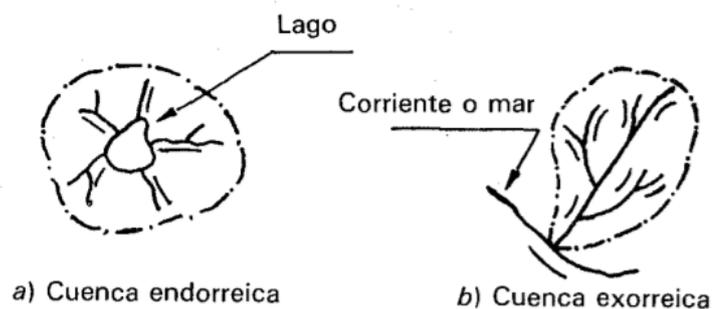
Nota. Esquema generalizado de un modelo hidrológico. Monsalve (1999)

### 2.2.6.2. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE SALIDA

A partir del punto de vista de la salida que tenga la cuenca, se puede clasificar las cuencas de la siguiente manera: endorreicas y exorreicas. La primera de ellas se denomina así porque el punto de salida se encuentra dentro de la cuenca que se está analizando, para la segunda esta presenta un punto de salida fuera de los límites de la cuenca, ya sea en otra corriente o algún mar cercano. (Aparicio, 1992)

**Figura 5**

*Clasificación de cuencas por su salida*



Nota. Tipos de cuencas en un esquema simplificado de acuerdo a su desfogue. Aparicio (1992)

### **2.2.6.3. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TAMAÑO**

Para una cuenca grande, se define que es característicamente donde predomina características fisiográficas como pendiente, elevación, área y cauce. De manera resumida una cuenca se toma en cuenta como grande si el área supera a los 250km<sup>2</sup>. (Villón, 2004)

Para una cuenca pequeña, se define que presenta característicamente una gran intensidad de lluvias y corta duración, las características físicas que presenta la cuenca tienen mayor relevancia que el mismo cauce. De manera resumida se considera a una cuenca pequeña el cual tenga un área menor de 250 km<sup>2</sup>. (Villón, 2004)

Planteado los parámetros de tamaño en las cuencas se tiene que enfatizar que, los análisis que se realiza no son similares en ambos casos. La cuenca pequeña presenta una variación en su forma y escurrimiento, a partir de las características físicas que se presenten en el suelo; dicho esto, para la hidrología de la zona es primordial enfocarse en la cuenca misma, pero si fuera en una cuenca grande, los efectos de almacenaje son más determinantes en el comportamiento de la misma, por ello debe darse la prioridad de análisis a los efectos de almacenaje de la cuenca.

#### 2.2.6.4. COMPONENTES DE UNA CUENCA

Se definen las partes de una cuenca y los flujos que influyen en los efectos de precipitación-escorrimento:

**a) Parteaguas**

Línea imaginaria que divide dos cuencas contiguas.

**b) Área de la cuenca**

Proyección horizontal que se encuentra limitada por el parteaguas.

**c) Perímetro de la cuenca**

Se define como el borde que forma la proyección del área proyectada al plano horizontal.

**d) Corriente principal**

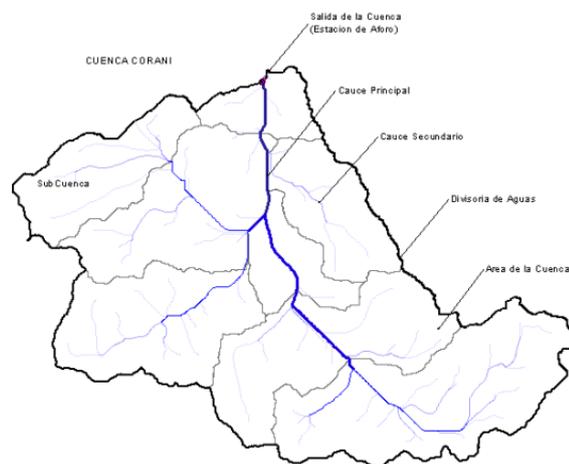
Corriente que transita dentro de la cuenca y comparte salida con ella.

**e) Corriente tributaria**

Toda corriente que desemboca en la corriente principal.

**Figura 6**

*Componentes de la cuenca*



Nota. Partes específicas de una cuenca. Yugar (2009)

#### 2.2.6.5. PARÁMETROS DE FORMA DE UNA CUENCA

Según Monsalve (1999), este tipo de parámetros adquiere su relevancia a partir de la relación que tiene con el “Tiempo de Concentración”, el cual se define como el tiempo que requiere

el agua ubicada en los extremos de la cuenca para llegar a la desembocadura, los índices se definen como:

**a) Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ )**

Es la proporción que existe entre el perímetro de la cuenca con la longitud de circunferencia del círculo equivalente al área de la cuenca.

$$A = \pi r^2 \quad r = (A/\pi)^{1/2}$$

$$K_c = P/(2\pi r)$$

Del cual se obtiene:

$$K_c = \frac{P}{2\pi \left(\frac{A}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad K_c = \frac{0.28P}{A^{\frac{1}{2}}}$$

Del cual se sabe:

$$P = \text{Perímetro de la cuenca (km)}$$

$$A = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}$$

De la interpretación de este índice se puede decir que mientras la cuenca tenga una forma más irregular se obtendrá un mayor coeficiente de compacidad. Si el valor obtenido es 1 o próximo a él se puede interpretar que tendrá una mayor tendencia a las crecientes.

**b) Factor de forma ( $K_f$ )**

Se puede definir a este parámetro como la proporción que existe en la medida del ancho promedio y el valor de la distancia axial de la cuenca.

$$K_f = B/L$$

$$B = A/L$$

$$K_f = A/L^2$$

Del cual se sabe:

$$B = \text{Ancho medio (km)}$$

$$L = \text{Longitud axial (km)}$$

$$A = \text{Área de drenaje (km}^2\text{)}$$

De la interpretación del resultado se puede determinar que, si la cuenca tiene un factor de forma bajo, esta se

verá, menos propensa a crecientes en comparación con otra de las mismas dimensiones, pero con un alto factor de forma.

#### 2.2.6.6. SISTEMA DE DRENAJE

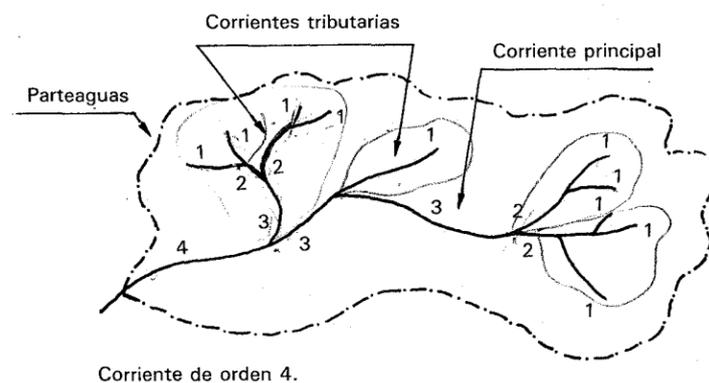
Según Monsalve (1999), se compone por el río principal y los, tributarios.

##### a) Orden de corrientes de agua

Se puede determinar a partir de este parámetro el nivel de bifurcación o ramificación que presente una cuenca.

**Figura 7**

*Ramificación de una cuenca*



Nota. Esquema idealizado de las ramificaciones de una cuenca.

Aparicio (1992)

De la Figura 7, podemos definir lo siguiente:

**Corrientes 1er orden:** Canales sin tributarios

**Corrientes 2do orden:** Dos de 1er orden se juntan

**Corrientes 3er orden:** Dos de 2do orden se juntan

**Corrientes de orden n+1:** Dos corrientes de n orden se juntan

##### b) Densidad de drenaje ( $D_d$ ):

Relación que se presenta entre la longitud total de los ríos presentes en la cuenca y el área total:

$$D_d = L/A$$

Del cual se sabe:

$L =$  Longitud total de ríos (km)

$A =$  Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

El valor de esta relación está entre los intervalos de 0.5  $\text{km}/\text{km}^2$  característico de cuencas con un deficiente drenaje, y llega hasta 3.5  $\text{km}/\text{km}^2$  para cuencas bien drenadas.

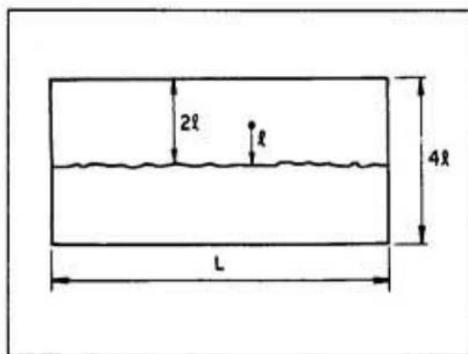
**c) Extensión media de escorrentía superficial**

Este parámetro lo podemos definir como la medida de longitud en la cual la lluvia escurrirá sobre el área de la cuenca, para el particular que la lluvia se produzca en línea recta desde donde se originó hasta la zona más cercana a una corriente de agua dentro de la cuenca. Teniendo en cuenta que el área de la cuenca se puede idealizar como un área rectangular ( $A$ ), de la misma forma teniendo el valor de longitud total de la corriente de agua ( $L$ ) dentro de la cuenca, que atraviesan la parte central de la cuenca, se puede plantear las siguientes fórmulas.

$$A = 4lL \rightarrow l = \frac{A}{4L}$$

**Figura 8**

*Extensión media de escorrentía superficial*



Nota. Modelo simplificado de escorrentía de un terreno. Monsalve (1999)

**d) Sinuosidad de corrientes de agua**

Podemos definir esta característica como la proporción que presenta la medida del río principal en

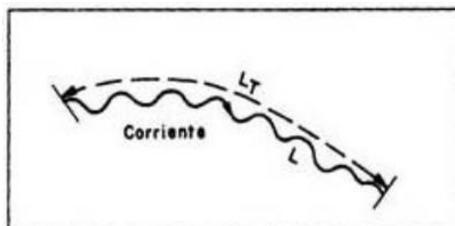
todo su recorrido y la longitud del valle donde se encuentre el río principal medido a partir de una línea recta o curva.

$$S = \frac{L}{L_t}$$

De este resultado se puede dar un valor aproximado de la velocidad de escorrentía que presenta la cuenca. Si, S tiene un valor menor a 1.25 se deduce que el río tiene una sinuosidad baja, basado en eso se plantea el concepto de río con alineamiento “recto”.

**Figura 9**

*Sinuosidad de corrientes de agua*



Nota. Esquema generalizado de la sinuosidad del canal.  
Monsalve (1999)

## 2.2.6.7. CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL RELIEVE

### a) Pendiente

Esta característica adquiere relevancia debido a que de ella se plantea el control de la escorrentía superficial, y que esto conlleva a la afectación del tiempo que el agua de lluvias se concentra en lechos fluviales que componen la cuenca.

Para su determinación se presentan 2 métodos, las cuales son:

Cuadrículas asociadas a un vector:

$$Pendiente\ media = \frac{\sum_{i=1}^k (\#ocurrencias_i \times Pendiente\ media_i)}{\sum_{i=1}^k \#ocurrencias_i}$$

A partir de curvas de nivel

De las cuales se plantean las siguientes fórmulas:

$$s_i = \frac{D}{d_i} , \quad d_i = \frac{a_i}{l_i} \rightarrow s_i = \frac{Dl_i}{a_i}$$

De esto se supone que el área parcial tenga un valor ponderante sobre la pendiente que se quiere determinar, se obtiene:

$$S = \frac{\sum s_i a_i}{\sum a_i}$$

Trabajando con ambas ecuaciones determinadas, quedaría:

$$S = \frac{DL_L}{A}$$

Del cual se sabe:

$l_i$ = Longitud de la curva de nivel i (km)

$D$ = Diferencia de cotas (km)

$d_i$ = Ancho de banda (km)

$A$ = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$S$ = Pendiente promedio

$L_L$ = Longitud total de CN (km)

$s_i$ = Pendiente media parcial

$a_i$ = Área de drenaje parcial

Dicho en palabras textuales, se puede determinar la pendiente hallando las longitudes de las curvas de nivel, el área drenada y las variaciones consecutivas entre las curvas de nivel, a partir de ello se puede determinar la pendiente promedio de la cuenca.

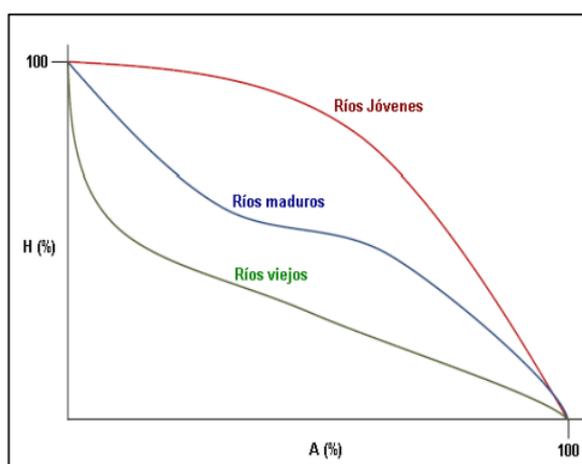
## b) Curva hipsométrica

Esta gráfica representa el relieve de la cuenca, se grafica dentro de ella los cambios de elevación en el área de la cuenca referenciados al nivel del mar. El cambio puede ser representada por el gráfico que represente en porcentaje en área de drenaje que se presenta superior o inferiormente de la variedad de elevaciones. La gráfica relaciona el dato de la cota para cada ordenada con los porcentajes en áreas

acumuladas en las abscisas. Dicho de otra manera, el porcentaje del área que se acumula que iguala o excede una cota determinada, es lo que representa la curva hipsométrica. Con relación a la moda que se presente en los valores de cota es el valor más frecuente o que presente una gran parte del área de la cuenca. A partir de estas gráficas se puede determinar las características fisiográficas para la cuenca que se caracteriza. (Monsalve, 1999)

**Figura 10**

*Curva hipsométrica relacionada con la edad del río*



Nota. Caracterización de cuenca de acuerdo a su curva hipsométrica. Ibáñez (2012)

### c) Elevación media de la cuenca

Esta se puede calcular de la siguiente forma:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Cota\ media\ intervalo_i \times \acute{A}rea_i)}{\sum_{i=1}^n \acute{A}rea_i}$$

Este parámetro se debe tener en cuenta debido a la influencia que tiene en la precipitación, en las pérdidas de agua por evaporación y de la misma forma transpiración y por consecuencia sobre el caudal medio.

#### **d) Pendiente de la corriente principal**

Relacionando el valor de la pendiente con la velocidad que presenta la corriente se plantea que si la pendiente de la corriente principal es mayor la velocidad del flujo será mayor.

##### Pendiente media ( $S_1$ )

Diferencia de elevación del río que se divide por su longitud entre los puntos.

$$S_1 = \frac{h_1 - h_0}{L_1 - L_0}$$

##### Pendiente media ponderada ( $S_2$ )

Es el valor más adecuado debido a que para el cálculo de esta se traza una línea recta compensando valores de área superiores e inferiores.

$$S_2 = \frac{h_2 - h_0}{L_2 - L_0}$$

##### Pendiente equivalente constante ( $S_3$ )

Dicho valor da rasgos del valor del tiempo que recorre el agua en la longitud axial del río. Se parte de las ecuaciones de Manning o Chezy, como se muestra:

$$V = KS^{\frac{1}{2}}$$

$$V = L/T$$

$$T = \frac{L}{KS^{\frac{1}{2}}}$$

Del cual se sabe:

$V$ = Velocidad del agua (m/s)

$L$ = Distancia recorrida por el agua (m)

$T$ = Periodo de tiempo del recorrido del agua (s)

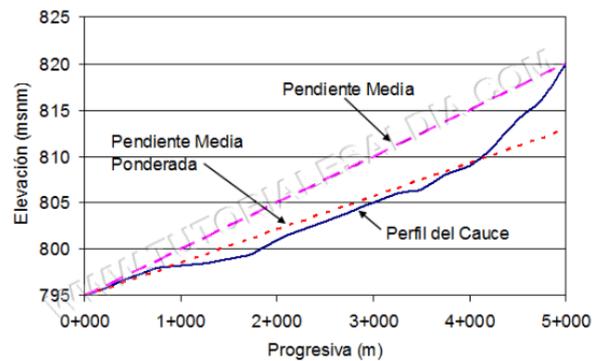
$K$ = Cte. (m/s)

A partir de estas fórmulas base, por una serie de despejes y representaciones armónicas para el  $T$  ya que este varía con respecto a la extensión que se presente en el curso del río, se logró determinar que:

$$S = S_3 = \left( \frac{\sum l_i}{\sum \left( \frac{l_i}{s_i^2} \right)} \right)^2$$

**Figura 11**

*Tipos de pendiente*



Nota. Elaboración de perfil de una cuenca con la cual se estiman los valores de pendiente. Ibáñez (2012)

### e) Rectángulo equivalente

Planteado por especialistas en hidrología francesa con el objetivo de hacer comparaciones entre las características que presenta la cuenca y los efectos que se generan en la escorrentía. Principalmente la característica primordial de un rectángulo equivalente es que presenta la misma distribución en altitudes que la gráfica de la curva hipsométrica de la cuenca a caracterizar. Para el planteamiento del rectángulo se hace que la longitud menor de la cuenca sea “*l*” y la longitud mayor de la cuenca sea “*L*”, las curvas de nivel se colocan de forma paralela a el lado menor, en tal planteamiento se respeta la distribución hipsométrica en la cuenca. (Monsalve, 1999)

$$Ll = A \rightarrow l = A/L$$

$$2(L + l) = P \rightarrow l + L = \frac{P}{2}$$

Estas ecuaciones se plantean con la finalidad de respetar las características de perímetro y área de la

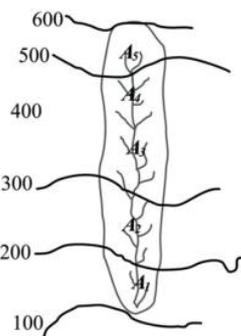
cuenca. Haciendo una relación con el índice de compacidad se pueden obtener las siguientes ecuaciones de determinación:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{1.12^2}{K_c^2}} \right)$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1.12^2}{K_c^2}} \right)$$

**Figura 12**

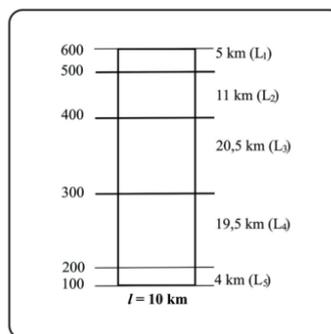
*Cuenca hidrográfica con curvas de nivel*



Nota. Representación gráfica. Cañibano (2018)

**Figura 13**

*Cuenca hidrográfica con curvas de nivel*



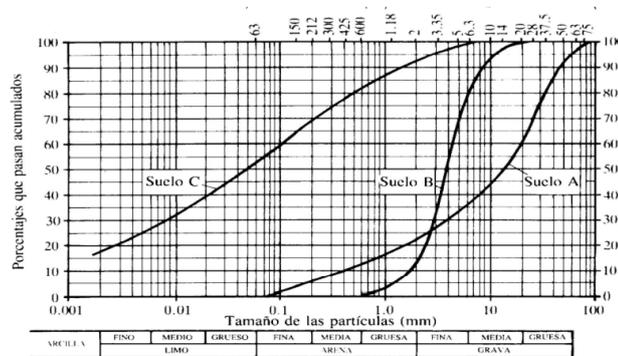
Nota. Esquema simplificado. Cañibano (2018)

### 2.2.6.8. SUELO

El suelo influye en la característica de escorrentía en la cuenca, es importante para esta característica definir la naturaleza, el color y tipo de vegetación que presenta, a partir de ello se puede definir la impermeabilidad, dicho ello mientras el suelo sea más impermeable la escorrentía aumenta. Aunque este fenómeno de impermeabilidad no se da en un 100% en un

terreno, pero también es de tener en cuenta que un suelo no es homogéneo, sino que tiene una composición mezclada la cual se puede caracterizar a partir de una curva granulométrica. La escorrentía y la pérdida de precipitación se pueden ver influidas por las características del suelo que se presenten, la escorrentía y las pérdidas presentan una intervención dentro de la cantidad de volumen de agua que se aporta a la cuenca, y como se distribuye este volumen en un periodo de tiempo.

**Figura 14**  
*Curva granulométrica*



Nota. Gráfica de identificación de características de suelo. Universidad Nacional de Colombia (2017)

**Tabla 3**  
*Tipo de material de acuerdo a su tamaño*

Tipo de Material	Diámetro (mm)
Grava	$2 \leq \phi$
Arena Gruesa	$0.2 \leq \phi < 2$
Arena Fina	$0.02 \leq \phi < 0.2$
Limo	$0.002 \leq \phi < 0.02$
Arcilla	$\phi < 0.002$

Nota. Tabla de clasificación por material y tamaño. Monsalve (1999)

## 2.2.7. PRECIPITACIÓN

### 2.2.7.1. DEFINICIÓN

Origen primario del líquido elemento en la superficie de la tierra, sus medidas e investigación, forman parte inicial del estudio relacionado con el control y uso del agua. (Villón, 2004)

### 2.2.7.2. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

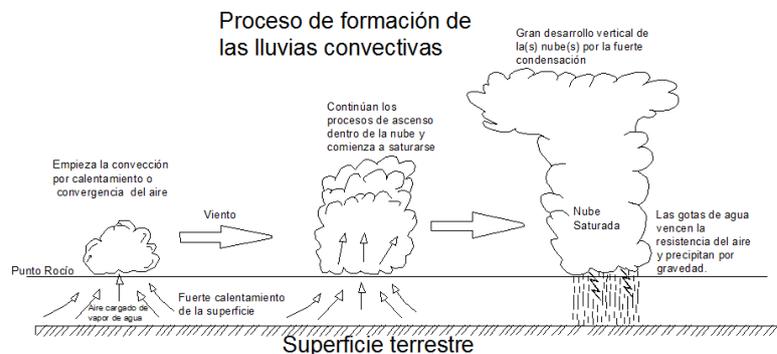
A partir de la elevación del aire para que se condense una nube y provoque una llovizna, la precipitación se puede clasificar de la siguiente manera:

#### a) Precipitación de convección

Este tipo de precipitación es característica de las regiones tropicales en el cual se presentan mañanas calurosas, con un viento calmo y el desplazamiento vertical predomina. (Villón, 2004)

**Figura 15**

*Lluvia convectiva*



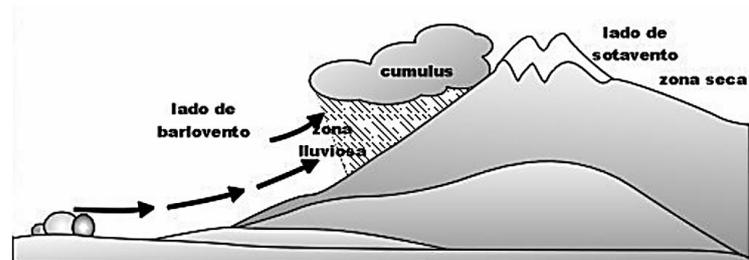
Nota. Proceso de origen de lluvia convectiva Ibáñez (2012)

#### b) Precipitación orográfica

Este tipo de precipitación se origina cuando el vapor de agua que se genera en las superficies de agua es trasladado por la acción ventosa hacia las montañas, este proceso se da hasta que la nube encuentre las condiciones adecuadas para su condensación y para luego formarse la precipitación. (Villón, 2004)

**Figura 16**

*Lluvia orográfica*



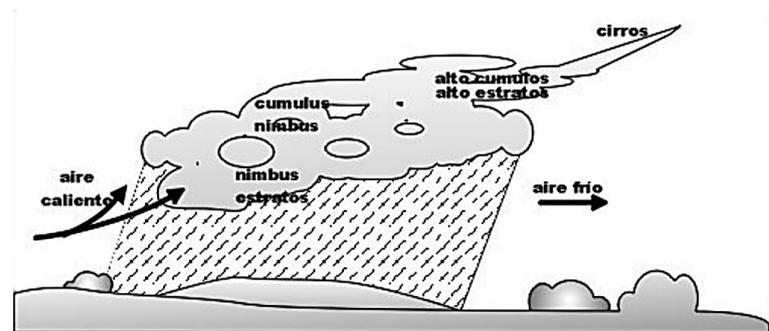
Nota. Proceso de lluvia orográfica. Villón (2004)

### c) Precipitación ciclónica

Este tipo de evento se origina cuando se juntan 2 masas de aire, estas presentando diferentes características de humedad y temperatura, las nubes con altas temperaturas son trasladadas con un alto impulso hacia partes altas, en las cuales se presentan las condiciones adecuadas de condensación y precipitación. Este tipo de eventos se relacionan directamente con el paso de ciclones o con áreas que presentan una baja presión. (Villón, 2004)

**Figura 17**

*Lluvia ciclónica*



Nota. Origen de lluvia ciclónica. Villón (2004)

### 2.2.7.3. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Para la medición de la precipitación esta se determina a partir de alturas de lámina de agua (hp), con unidades de milímetros. Esto lo podemos interpretar como, la cantidad de agua en altura que se juntaría en la superficie horizontal, para la situación que la precipitación permaneciera donde cayó. Para este tipo de medición se utilizan herramientas que se clasifican de la siguiente manera:

#### a) Pluviómetro

Esta herramienta permite determinar la altura de lluvia en la probeta, la precisión puede ser hasta los milímetros, debido a que cada centímetro de probeta equivale a un milímetro de altura en lluvia, las lecturas se realizan cada 24hrs. En caso se necesite conocer los valores de pluviometría cada mes o estacionales

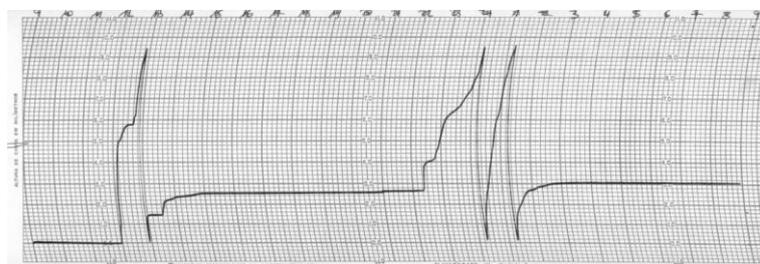
de una zona con un acceso accidentado del cual no se podrán hacer lecturas constantes se hacen uso de pluviómetros totalizadores. Se hacen uso de algunos congelantes y aceites para evitar el congelamiento y evaporación. (Villón, 2004)

#### **b) Pluviógrafo**

Esta herramienta registra los valores de altura de lluvia a partir del tiempo, esta herramienta permite identificar la intensidad de la precipitación, que es un valor de importancia en el diseño de estructuras hidráulicas. La medición se hace a partir del movimiento de una aguja sobre el papel registrador, es de conocimiento que el papel registrador tiene límites en el cual, si el pluviógrafo llega a esa zona, la guja desciende para seguir registrando las medidas. La gráfica resultante se denomina pluviograma. (Villón, 2004)

**Figura 18**

*Pluviograma*



Nota. Pluviograma de la una estación determinada. Paceli (2010)

#### **2.2.7.4. CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN MEDIA**

Generalmente la altura que se registra en una zona determinada, estos valores no tienen una significancia para las zonas que se encuentran alrededor de la zona aún sean zonas muy cercanas a la estación de medición. Los pluviómetros dan lecturas en una zona puntual de el lugar donde se coloca el aparato. En muchas situaciones hidrológicas se requieren medidas de alturas de precipitaciones diarias, mensuales, anuales, medias mensuales y medias anuales. (Villón, 2004)

Altura de precipitación diaria: Suma de las lecturas observadas en el transcurso de un día

Altura de precipitación media diaria: Promedio aritmético de lecturas diarias.

Altura de precipitación mensual: Suma de lecturas diarias en un mes.

Altura de precipitación media mensual: Promedio aritmético de las lecturas mensuales, para cierta cantidad de números de meses.

Altura de precipitación mensual: Suma de lecturas mensuales en un año.

Altura de precipitación media anual: Promedio aritmético de las lecturas anuales en un lapso de años.

Para la determinación de las precipitaciones medias en una tormenta, se presentan los siguientes métodos:

**a) Promedio Aritmético**

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Del cual se sabe:

$P_{med}$  = Precipitación media de la cuenca

$P_i$  = Precipitación de la estación  $i$

$n$  = # de estaciones en la cuenca

Este tipo de metodología es efectiva siempre las estaciones estén bien ubicadas en y haya la suficiente cantidad de estaciones en tomar en cuenta.

**b) Polígono de Thiessen**

Esta metodología se basa en identificar las áreas de influencia en las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, para ello se triangulan las estaciones, a partir de ello se trazan las mediatrices de los triángulos formados, de ello se plantean los polígonos de influencia de ello se calcula el valor del área de cada

una de ellas y para la determinación de la precipitación media se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Del cual se sabe:

$P_{med}$  = Precipitación media

$A_T$  = Área total

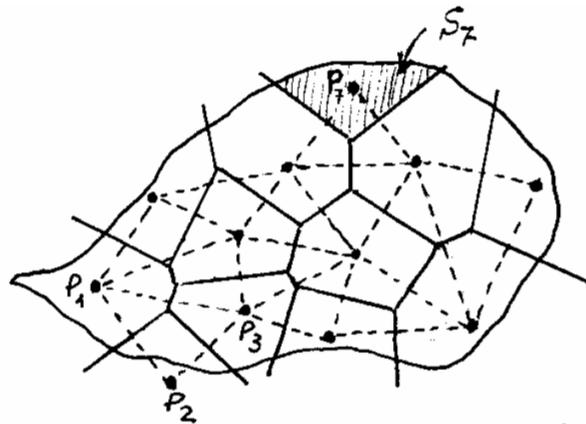
$A_i$  = Área parcial del polígono

$P_i$  = Precipitación parcial

$n$  = # estaciones

**Figura 19**

*Polígono de Thiessen*



Nota. Esquema generalizado de polígono de Thiessen. Sánchez (2012)

### c) Isoyetas

Esta metodología requiere un plano de isoyetas de las precipitaciones que se registraron, para las diversas estaciones que se encuentran alrededor de la cuenca, los planos de isoyetas tienen similitud en planteamiento a los planos topográficos ya que para las isoyetas se unen curvas con el mismo valor de precipitación. Se pudo identificar que si las lluvias son de características orográficas las isoyetas presentan similitud con las curvas de nivel de la zona. Dicho esto,

se puede definir que mientras más valores de registro se tengan más isoyetas se podrán trazar. De las secciones que se formaron al trazar cada isoyeta se determinan los valores de área entre 2 curvas seguidas, el cálculo de la precipitación media se puede realizar a partir de las siguientes ecuaciones:

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0 + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

De cual se sabe que:

$P_{med}$  = Precipitación media

$A_T$  = Área total

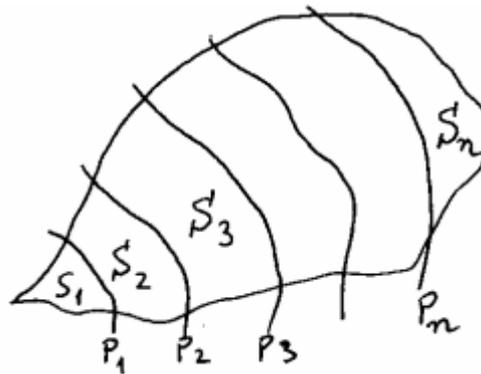
$A_i$  = Área parcial entre isoyetas

$P_i$  = Precipitación entre isoyetas

$n$  = # áreas parciales

**Figura 20**

*Mapa de isoyeta*



Nota. Esquema generalizado de isoyetas. Sánchez (2012)

### 2.2.7.5. ESTUDIO DE TORMENTA

Inicialmente se define a la tormenta como un evento de precipitación que puede durar entre minutos, horas y hasta días, este tipo de eventos pueden acaparar una extensión amplia de terreno hasta un terreno con relativamente pocos metros cuadrados. El estudio de las tormentas se relaciona con la capacidad de drenaje en la zona, determinación de caudales

críticos, efectos de en el suelo y para la determinación de parámetros de proyección estructural. Cuando el estudio de las tormentas se relaciona con la proyección de elementos estructurales lo que se toma en cuenta son eventos de tormenta definidas en proyección o con eventos de probabilidad de ocurrencia. (Villón, 2004)

#### **a) Elementos de análisis de tormentas**

##### Intensidad

Es el valor numérico en el cual se relaciona la cantidad de agua caída y el tiempo en el análisis de la tormenta, esta es la intensidad máxima que se suscite, a partir de ello se puede definir la intensidad como:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{P}{t}$$

Del cual se sabe:

$i_{m\acute{a}x}$  = Intensidad máxima (mm/hr)

$P$  = Altura de precipitación (mm)

$t$  = Tiempo (hr)

##### Duración

De el se puede definir periodo de duración que se define como el tiempo en que se suscita la tormenta entre minutos u horas, el valor de esta tiene importancia en la caracterización de intensidades máximas, estos se pueden obtener del pluviograma.

##### Frecuencia

Este valor caracteriza la ocurrencia de las tormentas con características definidas de intensidad y duración en periodos largos, los cuales se toman en periodos anuales.

##### Periodo de retorno

Se define al periodo de retorno como el intervalo promedio de tiempo, en el cual un evento "x" puede ser igualado o superado por lo menos una vez en

promedio, esto también se puede clasificar como la inversa de la frecuencia, como se muestra:

$$T = \frac{1}{f}$$

## b) Hietograma

Es la gráfica de manera similar a un histograma, representa la variación de intensidad que se expresa en mm/hr en la tormenta, en los transcurso del evento que se puede limitar en horas o minutos. A partir de las gráficas se puede identificar en que momento los eventos de precipitación adquiere un valor de intensidad, matemáticamente se puede representar como:

$$i = \frac{dP}{dt}$$

Del cual se sabe:

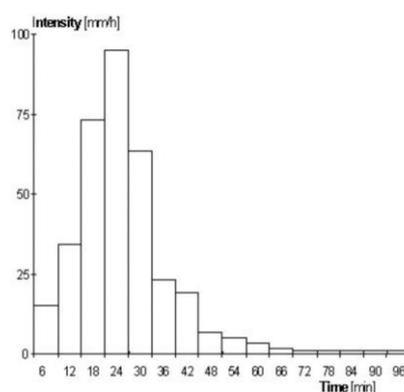
$i$ = Intensidad

$P$ = Precipitación

$t$ = Tiempo

### Figura 21

*Hietograma*



Nota. Hietograma tiempo vs. Intensidad. Sánchez (2012)

## c) Curva masa de precipitación

Esta gráfica sirve para representar las precipitaciones acumuladas comparadas con el tiempo, este valor se obtiene a partir del procesamiento de datos del

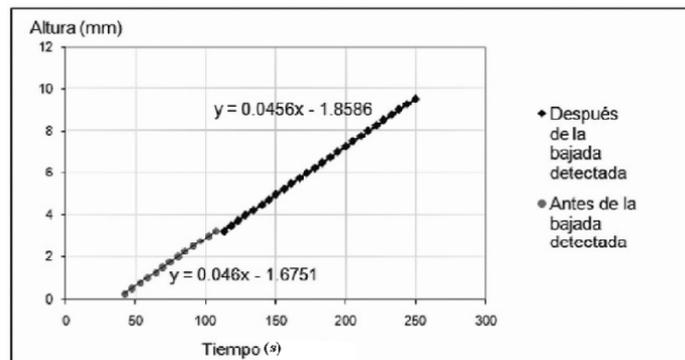
pluviograma. Esta curva masa se caracteriza por no ser decreciente, la pendiente de la tangente en algún punto de la curva da el valor de intensidad instantánea en ese tiempo. Matemáticamente se puede representar a la curva masa de la siguiente manera:

$$P = \int_0^{t_1} i dt$$

De la cual se deduce:  $i = \frac{dP}{dt}$

**Figura 22**

*Curva masa*



Nota. Gráfica de curva masa. Sánchez (2012)

### 2.2.7.6. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA EL ANÁLISIS DE DATOS HIDROLÓGICOS

Al realizar estudios hidrológicos se tendrán en cuenta la gran variedad de datos obtenidos, de ellos el especialista se basará en modelos probabilísticos para el ajuste al comportamiento de estos valores recolectados. Si se logra determinar un estadístico de ajuste adecuado se podrá realizar una predicción a partir de planteamientos probabilísticos la ocurrencia de un fenómeno hidrometeorológico. Todo este proceso se puede identificar en el siguiente esquema:

**Figura 23**

*Algoritmo de selección de distribución teórica*



Nota. Secuencia de ejecución de distribución estadística. Villón (2008)

### a) Distribución Normal

Para este tipo de distribución se plantea, que a partir de una variable aleatoria  $X$  esta podrá ser definida por la siguiente función densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} \text{EXP} \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \bar{x}}{S} \right)^2 \right]$$

Del cual se sabe:

$f(x)$  = Función densidad normal para "x"

$x$  = Variable independiente

$\bar{x}$  = Media aritmética de "x"

$S$  = Desviación estándar de "x"

### b) Distribución Log-Normal

Para este tipo de distribución se plantea una variable aleatoria "x" con valor positivo y el parámetro del límite inferior denominado "x<sub>0</sub>" no se tiene en cuenta. Se define a la variable con la expresión  $y = \ln x$ , la cual puede ser normalmente distribuida con un valor de media de  $\mu_y$  y el valor de la varianza  $\sigma_y^2$ , de la cual se puede plantear su ecuación densidad como se muestra:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} \text{EXP} \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

Teniendo en cuenta que:

$$0 < x < \infty$$

$$x \sim \log N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

### c) Distribución Log-Pearson tipo III

Para la distribución se plantea una variable aleatoria "x", esta posee una distribución Pearson tipo III a partir de la función densidad:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Teniendo las consideraciones:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Del cual se sabe:

$x_0$  = Parámetro de posición

$\beta$  = Parámetro de escala

$\gamma$  = Parámetro de forma

### d) Distribución de Gumbel

Esta distribución tiene la particularidad de ser una de las denominadas de valor extremo, para este tipo de distribución se plantea la siguiente función densidad dada las particularidades de esta distribución:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}$$

Se tiene en cuenta que:

$$-\infty < x < \infty$$

De la cual podemos definir la variable aleatoria como:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha}$$

Para poder así plantear la función densidad reducida:

$$g(y) = EXP(-y - EXP(-y)) = e^{-y-e^{-y}}$$

Planteando así la función densidad acumulada:

$$G(y) = EXP(-EXP(-y)) = e^{-e^{-y}}$$

Relacionando ambas ecuaciones queda:

$$F(x) = G(y)$$

Y se queda:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha} \rightarrow x = \mu + \alpha y$$

### 2.2.7.7. PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE

Estas basan su metodología en la verificación gráfica y estadística de la frecuencia empírica en la serie de análisis se puede ajustar a una distribución, los parámetros que se estiman basado en los valores muestrales. Las pruebas estadísticas que se plantean en las pruebas de bondad tienen la finalidad de medir la certidumbre que se logra determinar a partir del planteamiento de una hipótesis en una población, dicho de otra forma, es dar un valor de confiabilidad al momento de suponer que una variable aleatoria se pueda distribuir en una distribución de probabilidades preseleccionada, las pruebas de bondad se pueden clasificar como:

#### a) Ajuste gráfico

Este tipo de ajustes se pueden realizar a partir de la comparación grafica del histograma o la función densidad de los valores empíricos, con la función de densidad teórica y dar un resultado visual de si se ajusta o no, a partir de las diferencias o similitudes.

**Figura 24**

*Ajuste gráfico con función densidad*



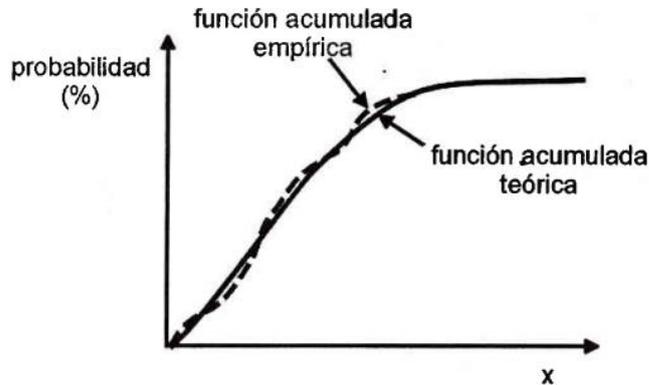
Nota. Esquema de simulación de una función densidad. Villón (2008)

Otro tipo de enfoque para este tipo de análisis gráfico es la de analizar los valores de la función acumulada que se obtuvo de la serie con los valores acumulados

teóricos de la función, y corroborar si las gráficas presentan o no un ajuste adecuado.

**Figura 25**

*Ajuste gráfico con función acumulada*



Nota. Gráfica simulada para una función acumulada empírica.

Villón (2008)

### **b) Prueba de Smirnov-Kolmogorov**

Este tipo de prueba se basa en realizar comparaciones de entre las diferencias de la probabilidad empírica de los datos con la probabilidad teórica, de cual se toma el valor máximo del valor absoluto, entre el observado y el teórico, dicho en forma matemática:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)|$$

Del cual se sabe:

$\Delta$  = Estadístico de Smirnov-Kolmogorov

$F(x)$  = Probabilidad de la distribución teórica

$P(x)$  = Probabilidad empírica de los valores

### **2.2.8. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS**

Para el diseño de estructuras se plantea la necesidad de realizar la estimación de caudales de diseño, que generalmente para los diseños estructurales son los máximos que se presentan, el valor que se obtenga del caudal de diseño se relaciona de manera directa con el periodo de retorno que se selecciona con la importancia y el tiempo de vida que se requiera para la estructura teniendo el contexto necesario. (Villón, 2004)

### 2.2.8.1. PERIODO DE RETORNO DE AVENIDA

Cuando se requiera determinar el caudal de diseño, se tiene en cuenta el periodo de retorno el cual es definido como el periodo de tiempo en el cual un evento con magnitud “Q” se puede igualar o exceder al menos una vez en promedio. En expresiones matemáticas se puede decir que si el evento mayor o igual a “Q” ocurre por lo menos una vez en “T” años la probabilidad de ocurrencia “P” se puede definir como 1 en “T” casos, dicho en expresiones:

$$P = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{P}$$

Del cual se sabe:

$P$  = Probabilidad de ocurrencia

$T$  = Periodo de retorno

Si planteamos la no ocurrencia de del evento “Q” en cualquier año se puede definir como:

$$\bar{P} = 1 - P$$

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T}$$

Si tenemos en consideración que un evento es independiente de que no ocurra el mismo, para un tiempo anterior o posterior dicho esto se puede definir la no ocurrencia en “n” años sucesivos:

$$\bar{P} \cdot \bar{P} \dots \bar{P} = \bar{P}^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Dicho ello se plantea que el evento ocurra al menos una vez en “n” años sucesivos, esta se denomina como riesgo o falla “R”, de ello se puede definir los valores matemáticos:

$$R = 1 - \bar{P}^n$$

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

Con ello se define el parámetro de riesgo, a partir de ello se define las implicaciones que se tienen en cuenta para seleccionar un periodo de retorno que tenga una vida útil en “n” años.

**Tabla 4***Periodos de retorno para estructuras*

Tipo de Estructuras	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 - 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5 - 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de duración	1 - 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 - 10
Drenaje agrícola	5 - 10
Muros de encauzamiento	2 - 50

*Nota.* Valores de periodo de retorno de acuerdo a la estructura de diseño.

Villón (2004)

#### 2.2.8.2. MÉTODO DIRECTO

Para este método hidráulico también se denomina como el de “Sección y Pendiente”, el caudal máximo se estima a partir del paso de una avenida y los campos obtenidos en la zona donde se suscita el evento. Este proceso incluye los siguientes pasos:

Determinar las características de cada sección transversal a lo largo del río que se quiera determinar, dentro de las características que se requieren están:

$A_1, A_2 =$  Áreas hidráulicas

$P_1, P_2 =$  Perímetros mojados

$R_1, R_2 =$  Radios hidráulicos  $\left( R_1 = \frac{A_1}{P_1} \right)$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

A partir de ello se plantea la pendiente “S” de la superficie del agua de las avenidas críticas en estudio. Se plantean los

coeficientes de rugosidad de Manning, luego se ello se plantea la fórmula de caudal de Manning, como se muestra:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$Q$ = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

$n$ = Coeficiente de rugosidad

$A$ = Área hidráulica prom. (m<sup>2</sup>)

$R$ = Radio hidráulico prom. (m)

$S$ = Pendiente (m/m)

**Tabla 5**

*Rugosidad de Manning*

<b>COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “n” de MANNING TÍPICOS</b>			
TIPO DE CAUCE Y DESCRIPCIÓN	Valor de “n”		
	Mínimo	Normal	Máximo
D: Cauces naturales menores (ancho superior, a nivel de crecida, menor que 30 m)			
D1: Cauces en planicie			
Limpio recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas.	0.040	0.048	0.055
Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
Tramos con mucho pasto, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2: Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
Fondo: grava, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
Cantos rodados y algunas rocas.	0.040	0.050	0.070
E: Cauces con planicie de crecidas			
Pastos sin arbustos			
Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
Pastos altos	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos maduros alincados	0.025	0.030	0.045

Campos de Cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
Arbustos			
Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.160
Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Arboles			
Sauces densos, en verano y rectos	0.710	0.150	0.200
Tierra clara con ramas sin brotes	0.030	0.040	0.050
Igual que arriba, pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F: Cursos de agua importadas (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva			
Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

*Nota.* Valores de rugosidad de acuerdo al tipo de suelo. Chow, Maidment, & W. (1994)

### 2.2.8.3. MÉTODO RACIONAL

Este tipo de metodología para el cálculo de caudales a cuencas que tengan un área aproximada que no excedan a los 1300 has o 12 km<sup>2</sup>. Se plantea para ello que la máxima escorrentía que se presente ocasionada con la lluvia, este ocurrirá cuando la duración es de la misma que el tiempo de concentración “ $t_c$ ”, cuando este evento se presenta la cuenca aporta con el caudal en la zona de salida. Si el tiempo que ocurre es mayor al “ $t_c$ ” contribuye a la cuenca de la misma manera, pero con una intensidad menor de lluvia, esto debido a la mayor duración y también el caudal será menor. Por el contrario, si la duración de la lluvia es menor al “ $t_c$ ” se presentará una mayor intensidad de lluvia, dado este fenómeno al momento de acabar, la lluvia el agua que cae no ha llegado a la salida de la cuenca, debido a eso el caudal será menor.

(Villón, 2004). A partir de esa definición matemáticamente se puede calcular el caudal máximo como:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Del cual se sabe:

$Q$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = Coeficiente de escorrentía

$I$  = Intensidad máxima de lluvia (mm/hr)

$A$  = Área de la cuenca (has)

Si el área de la cuenca se expresa en km<sup>2</sup> la fórmula se transforma a:

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

a) Tiempo de concentración ( $t_c$ )

Se define a tiempo de concentración como el tiempo que transcurre desde que una gota cae en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de la misma. Este valor se ve influenciado por características geográficas y topográficas que se presenten en la cuenca. El tiempo de diseño se incluye los escurrimientos que se generen en el terreno, canales, recorridos y cunetas que presenten en la zona que se diseña. (Villón, 2004)

Para la determinación se pueden obtener de las siguientes maneras:

- Medida directa con trazadores
- Usando las características hidráulicas de la cuenca
- Estimando velocidades

Para el método de estimación de velocidades, se calcula la pendiente media del curso principal, se determina el valor de velocidad media en función a la pendiente y cobertura vegetal y finalmente, a partir de la velocidad

media y la longitud se puede determinar el tiempo de concentración.

**Tabla 6**

*Velocidad media a partir de características (m/min)*

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Vegetación densa o cultivos</b>	<b>Pastos o vegetación ligera</b>	<b>Sin vegetación</b>
0 – 5	25	40	70
5 – 10	50	70	120
10 – 15	60	90	150
15 – 20	70	110	180

*Nota.* Característica de velocidad de acuerdo a la pendiente y al tipo de suelo. Villón (2004)

- Valores por Ramser

Para cuencas con una pendiente media del 5% y con un largo que es 2 veces el promedio del ancho

**Tabla 7**

*Valores de Ramser*

<b>Área (has)</b>	3	10	20	40	75	100	200	300	400
<b>t<sub>c</sub> (min)</b>	4	5	12	17	22	26	41	56	74

*Nota.* Coeficiente de Ramser de acuerdo al área. Villón (2004)

- Uso de fórmulas empíricas

Se plantean según Kirpich para el cálculo del tiempo de concentración, las siguientes fórmulas:

$$t_c = 0.0195K^{0.77}$$

Del cual se sabe:

$$K = \frac{L}{\sqrt{S}} \rightarrow S = \frac{H}{L}$$

$$K = \frac{L^{\frac{3}{2}}}{H^{\frac{1}{2}}}$$

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H^2} \right)^{0.77}$$

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Del cual se sabe:

$t_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud máxima de recorrido (m)

$H$  = Diferencia de elevación entre puntos extremos del cauce principal en (m)

- A partir de la fórmula australiana

$$t_c = \frac{58L}{A^{0.1}S^{0.2}}$$

Del cual se sabe:

$t_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud de corriente (km)

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$S$  = Pendiente de corriente (m/km)

- Fórmula de George Rivero

$$t_c = \frac{16L}{(1.05 - 0.2p)(100S)^{0.004}}$$

Del cual se sabe:

$t_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud de canal (km)

$p$  = Relación del área de vegetación y área de la cuenca.

$S$  = Pendiente media del canal principal (m/m)

- Fórmula de SCS

Este tipo de fórmula se aplica a cuencas menores de 10 km<sup>2</sup> a partir de la siguiente:

$$t_c = \frac{0.02872L^{0.80} \left( \frac{1000}{N} - 9 \right)^{1.67}}{S^{0.50}}$$

Del cual se sabe que:

$t_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L = 110A^{0.60} \rightarrow$  esto se define como la longitud hidráulica de la cuenca

$A =$  Área de la cuenca (has)

$N =$  # de curva

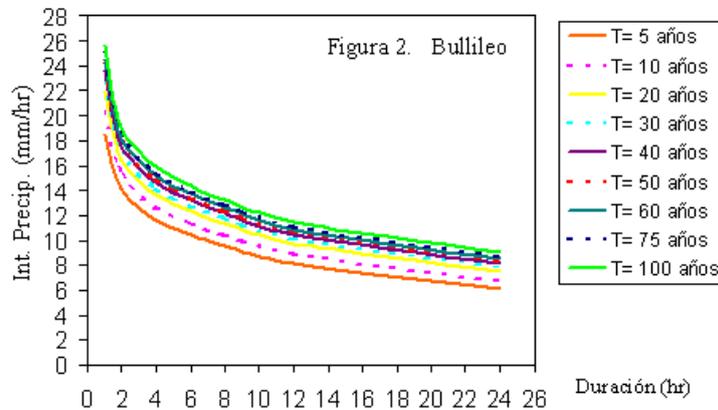
$S =$  Pendiente promedio en %

b) Determinación de la intensidad de lluvia

Este valor se determina a partir de la curva de intensidad-duración-periodo de retorno.

**Figura 26**

Curva IDF



Nota. Esquema ejemplificado de las curvas IDF. Cañibano (2018)

c) Determinación del coeficiente de escorrentía (C)

El valor del agua que llega al cauce evacuante, evidencia una fracción de la precipitación total, se define como:

$$C = \frac{V_{\text{escorrentía superficial total}}}{V_{\text{precipitado total}}}$$

**Tabla 8***Valores de coeficiente de escorrentía*

Tipo de vegetación	Pendiente (%)	Textura		
		Franco arenosa	Franco arcillolimosa Franco limosa	Arcillosa
Forestal	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	5 – 10	0.25	0.35	0.50
	10 – 30	0.30	0.50	0.60
Praderas	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	5 – 10	0.15	0.35	0.55
	10 – 30	0.20	0.40	0.60
Terrenos cultivados	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	5 – 10	0.40	0.60	0.70
	10 – 30	0.50	0.70	0.80

*Nota.* Estimación de valores de escorrentía de acuerdo a sus características. Villón (2004)**Tabla 9***Valores de coeficiente de escorrentía para zonas urbanas*

Tipo de área drenada	Coefficiente C
<b>Áreas comerciales</b>	
Céntricas	0.7 – 0.95
Vecindarios	0.5 – 0.7
<b>Áreas Residenciales</b>	
Familiares simples	0.30 – 0.50
Multifamiliares separados	0.40 – 0.60
Multifamiliares concentrados	0.60 – 0.75
Semi-urbanos	0.25 – 0.40
Casas de habitación	0.50 – 0.70
<b>Áreas industriales</b>	
Densas	0.60 – 0.90
Espaciadas	0.50 – 0.80
Parques, cementerios	0.10 – 0.25
Campos de juego	0.10 – 0.35
Patios de ferrocarril	0.20 – 0.40
Zonas urbanas	0.10 – 0.30
<b>Calles</b>	
Asfaltadas	0.70 – 0.95
De concreto hidráulico	0.80 – 0.95
Adoquinadas	0.70 – 0.85

Estacionamientos	0.75 – 0.85
Techados	0.75 – 0.95

*Nota.* Coeficientes de escorrentía de acuerdo al tipo de uso de suelo. Villón (2004)

Cuando una cuenca se presenta una diversa composición en la superficie el valor de C se hace una ponderación de los valores, planteado de forma matemática:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_iA_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Del cual se sabe:

C= Coeficiente de escorrentía en promedio

$C_i$ = Coeficiente de escorrentía para un área determinada

$A_i$ = Área parcial

$n$ = # áreas parciales

#### 2.2.8.4. MÉTODO MAC MATH

Este planteamiento se da a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = 0.0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

Del cual se sabe:

Q= Caudal máximo en T años de retorno ( $m^3/s$ )

C= Factor de escorrentía de Mac Math

I= Intensidad máxima de lluvia (mm/hr)

A= Área de la cuenca (has)

S= Pendiente promedio del cauce principal (%)

Para la ecuación que se plantea el parámetro de factor escorrentía se compone de la siguiente ecuación:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Del cual se sabe:

$C_1$ = Función de la cobertura vegetal

$C_2$ = Función de la textura del suelo

$C_3$ = Función de la topografía del terreno

**Tabla 10***Factores de escorrentía de Mac-Math*

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C <sub>1</sub>	Textura	C <sub>2</sub>	Pendiente (%)	C <sub>3</sub>
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 – 0.2	0.04
80 – 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 – 0.5	0.06
50 – 80	0.16	Media	0.16	0.5 – 2.0	0.06
20 – 50	0.22	Fina	0.22	2.0 – 5.0	0.10
0 – 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 – 10.0	0.15

*Nota.* Valores de escorrentía para la fórmula de Mac-Math. Villón (2004)

### 2.2.8.5. MÉTODO DE NÚMERO DE CURVA

Este tipo de metodología se aplica a cuencas medianas y también se adapta a cuencas pequeñas. La principal aplicación de la metodología es la de la estimación de cantidades de escurrimiento para el análisis de avenidas máximas. El número de curva por el cual se denomina el método se define así porque el valor del número de curva “N” varía del 1 al 100 del cual si una curva tiene un valor 100 indica que toda la lluvia escurre y un valor de 1 significa que toda la lluvia se infiltra, por lo cual cada una de las curvas representan los coeficientes de escorrentía. Esta metodología se usa para estimar la escorrentía total a partir de datos de precipitación y otros parámetros de las cuencas de drenaje, a partir de la siguiente relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e}$$

Del cual se sabe:

$F$  = Infiltración acumulada

$S$  = Infiltración potencial máxima

$Q$  = Escorrentía total acumulada

$P_e$  = Exceso de precipitación

A partir de este planteamiento por una serie de reinterpretaciones y equivalencias, se puede quedar a partir de valores de precipitación se puede demostrar como:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Del cual se sabe:

$Q$ = Escorrentía total acumulada

$P$ = Precipitación

$S$ = Infiltración potencial máxima

De ello también se puede plantear:

$$N = \frac{1000}{10 + S}$$

$$S = \frac{1000}{N} - 10$$

El resultado se expresa en pulgadas las cuales, al ser transformadas a centímetros, transformando quedaría:

$$S = \frac{2540}{N} - 25.4$$

La cual sustituyendo en la ecuación base:

$$Q = \frac{[N(P + 5.08) - 508]^2}{N[N(P - 20.32) + 2032]}$$

Del cual se sabe que:

$Q$ = Escorrentía total acumulada (cm)

$P$ = Precipitación de tormenta (cm)

$N$ = Número de curva

Si “P” está en mm y “Q” en mm se escribe como:

$$Q = \frac{[N(P + 50.8) - 5080]^2}{N[N(P - 203.2) + 20320]}$$

**Tabla 11**

*Número de curva “N”*

Uso de la tierra	Cobertura		Número de curva			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	---	7	8	9	9
			7	6	1	4
Cultivos	Surcos rectos	Pobre	7	8	8	9
			2	1	8	1
	Surcos rectos	Buena	6	7	8	8
			7	8	5	9

	Curvas de nivel	Pobre	7	7	8	8
			0	9	4	8
	Curvas de nivel	Buena	6	7	8	8
			5	5	2	6
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	6	7	8	8
			6	4	0	2
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	6	7	7	8
			2	1	8	1
	Surcos rectos	Pobre	6	7	8	8
			5	6	4	8
	Surcos rectos	Buena	6	7	8	8
			3	4	2	5
	Curvas de nivel	Pobre	6	7	8	8
Pequeños granos			3	4	2	5
	Curvas de nivel	Buena	6	7	8	8
			1	3	1	4
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	6	7	7	8
			1	2	9	2
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	5	7	7	8
			9	0	8	1
	Surcos rectos	Pobre	6	7	8	8
			6	7	5	9
	Surcos rectos	Buena	5	7	8	8
			8	2	1	5
	Curvas de nivel	Pobre	6	7	8	8
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación			4	5	3	5
	Curvas de nivel	Buena	5	6	7	8
			5	9	8	3
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	6	7	8	8
			3	3	0	3
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	5	6	7	8
			1	7	6	0
		Pobre	6	7	8	8
			8	9	6	9
		Regular	4	6	7	8
Pastizales o similares			9	9	9	4
		Buena	3	6	7	8
			9	1	4	0
	Curvas de nivel	Pobre	4	6	8	8
			7	7	1	8

	Curvas de nivel	Regular	2	5	7	8
			5	9	5	3
	Curvas de nivel	Buena	6	3	7	7
			5	0	9	
Pradera		Buena	3	5	7	7
			0	8	1	8
		Pobre	4	6	7	8
			5	6	7	3
Bosques		Regular	3	6	7	7
			6	0	3	9
		Buena	2	5	7	7
			5	5	0	7
Patios		---	5	7	8	8
			9	4	2	6
	Cieno	---	7	8	8	8
Caminos, incluyendo derecho de vía			2	2	7	9
	Superficie firme	---	7	8	9	9
			4	4	0	2

*Nota.* Valores de curva N para una cuenca. Villón (2004)

En el caso de la caracterización de la tierra se identifican de solo observaciones en el campo o por las mediciones de densidad y magnitud de escombros y cultivos en áreas representativas, de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Clasificación de los suelos*

<b>Grupos de suelos</b>	<b>Descripción</b>
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aún cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de

---

moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.

D Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

---

*Nota.* Esquema de identificación de suelo de acuerdo a las características del suelo. Villón (2004)

### 2.2.8.6. MÉTODO DE GUMBEL

Se hace el cálculo máximo con un periodo de retorno se usa la ecuación:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$
$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

Del cual se sabe:

$Q_{m\acute{a}x}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

$N$  = # años de registro

$Q_i$  = Caudales anuales (m<sup>3</sup>/s)

$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$  Caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)

$T$  = Periodo de retorno

$\sigma_N, \bar{Y}_N$  = Constantes en función de  $N$

$\sigma_Q$  = Desviación estándar para caudales

### 2.2.8.7. MÉTODO DE NASH

Se puede calcular el caudal a partir de un determinado periodo de retorno, como se muestra:

$$Q_{m\acute{a}x} = a + b \log \log \frac{T}{T - 1}$$

Del cual se sabe que:

$a, b$  = Constantes

$Q_{m\acute{a}x}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

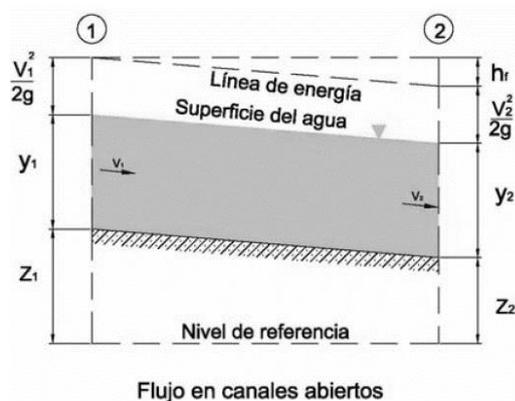
$T$  = Periodo de retorno

### 2.2.9. CANALES ABIERTOS

Para los canales abiertos con fines de simplificación se toma en cuenta que el flujo es paralelo y que la distribución de velocidades se da de forma uniforme, de la misma manera es que la pendiente del canal es muy pequeña. Para el caso de canales abiertos se tiene en cuenta que la superficie del agua es igual que la línea del gradiente hidráulico, la altura piezométrica se puede relacionar con la profundidad del agua. (Chow V. T., 1995)

**Figura 27**

*Flujo en canales abiertos*



Nota. Esquema idealizado de un flujo de canal. Chow V. T. (1995)

Los flujos se pueden clasificar como:

#### 2.2.9.1. FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE

Para esta clasificación se tiene en cuenta el tiempo como característica. Se plantea que el flujo de un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o se puede decir que es constante en el periodo de tiempo de duración. Para la definición del flujo no permanente se puede definir a un flujo del cual cambien la profundidad en un intervalo de tiempo, para muchos análisis de canales abiertos se tienen que tener en cuenta las condiciones para flujos permanentes, por el contrario, si tenemos un análisis con una mayor relevancia del cambio de flujo relacionado con el tiempo se tiene que analizar a partir de un flujo no permanente. Se define para cualquier tipo de flujo la siguiente expresión:

$$Q = VA$$

Del cual se sabe:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$V$  = Velocidad media ( $m/s$ )

$A$  = Área de la sección ( $m^2$ )

Los parámetros de la ley de continuidad en el caso del flujo no permanente requieren un replanteo considerando el tiempo de análisis, dicho esto la ecuación de la continuidad para un flujo de característica continua no permanente debe tener en cuenta dentro de sus parámetros el tiempo. (Chow V. T., 1995)

#### **2.2.9.2. FLUJO UNIFORME Y FLUJO VARIADO**

Para esta clasificación se tiene que tener en cuenta el espacio como característica determinante. Se denomina flujo uniforme si la profundidad del flujo no cambia en las diferentes secciones del canal. Para el caso de un flujo variado pues al contrario la profundidad cambia en las diferentes secciones del canal. (Chow V. T., 1995)

#### **2.2.9.3. FLUJO UNIFORME PERMANENTE Y NO PERMANENTE**

Este tipo de flujo se caracteriza por que el flujo no cambia en su profundidad, y la definición del flujo uniforme no permanente se requiere que las superficies de agua cambiarán en un periodo de tiempo, pero el paralelismo con el fondo del canal.

#### **2.2.9.4. FLUJO VARIADO PERMANENTE Y NO PERMANENTE**

Se define al flujo variado cuando se cambia la profundidad del flujo a lo largo del canal, este también se puede definir como flujo variado permanente o no permanente, dicho esto el flujo uniforme no permanente es muy poco frecuente, la terminología “flujo no permanente” se utiliza para definir a el “flujo variado no permanente”.

### 2.2.9.5. FLUJO RÁPIDAMENTE VARIADO Y GRADUALMENTE VARIADO

Se define a un flujo rápidamente variado se caracteriza por el cambio abrupto de las profundidades del agua en distancias muy cortas de tramos, si es de otra forma esta pues se considera como gradualmente variado.

En resumen, todos los flujos que se presentan se pueden organizar de la siguiente manera:

**Figura 28**

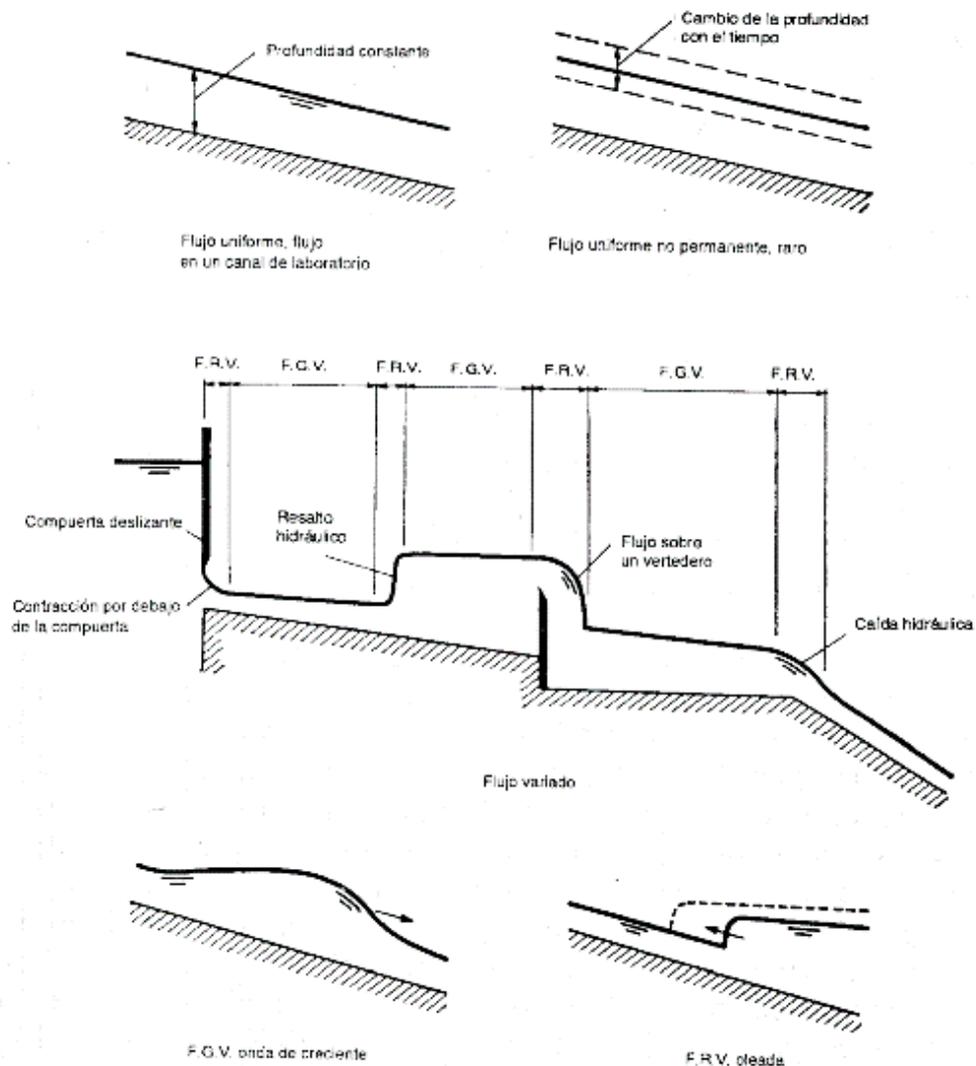
*Clasificación de flujo*



Nota. Esquema de clasificación de flujo. Chow V. T. (1995)

**Figura 29**

*Esquemas de flujo*



Nota. Esquema de tipos de flujo idealizados. Chow V. T. (1995)

### 2.2.10. APLICACIONES DE SOFTWARE EN LA HIDROLOGÍA

La información requerida para el tratamiento de información hidrológica se requieren datos en formato SIG o dicho en otra forma información geográfica que faciliten la interpretación de valores cartográficos y alfanuméricos, interpretando estos valores se puede definir las características para la gestión y análisis ágil de información espacial, dicho de otra manera, se puede procesar información de ámbito territorial.

### **2.2.10.1. ARCGIS**

Software desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales o conocidas por sus siglas “ESRI” planteado para la información SIG, la utilidad de este tipo de software es la manipulación de la información vectorial y poderlas exportar en formato SHP, se manipulan las imágenes satelitales se ejerce a partir de la extensión Raster – Grid, las herramientas de este software son:

- Elaborar, distribuir y analizar mapas o información cartográfica.
- Compilación de información geográfica.
- Elaboración y administración de bases de datos geográficos.
- Elaboración de aplicativos que se basan en mapas.

### **2.2.10.2. HEC-RAS**

Este software se basa en un modelo matemático que se desarrolla por el centro de Ingeniería Hidráulica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. A partir de este software se logra realizar modelos hidráulicos en los regímenes permanentes y no permanentes, análisis de transporte de sedimento y determinación de la calidad de agua en los cauces de los ríos o cuerpos de agua.

Adicionalmente, el software también se logra desarrollar los niveles de la superficie del agua que se caracteriza por tener un flujo gradualmente variado. Los sistemas que se logran modelar en el software se pueden basar en una sola red de agua o en un conjunto de ríos. Para el estudio del flujo puede realizar si se presenta un régimen subcrítico, supercrítico o la mezcla de los dos.

### **2.2.10.3. HIDROESTA**

HidroEsta es una herramienta computacional utilizando Visual Basic, para cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la hidrología, este software facilita

y simplifica los cálculos laboriosos, y el proceso del análisis de la abundante información que se deben realizar en los estudios hidrológicos. El software permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones. Calcula a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realiza el análisis de una tormenta y calcula intensidades máximas, a partir de datos de pluviográficos.

- El software permite realizar el ajuste de las series de distribuciones Normal, Log-Normal de 2 y 3 parámetros, Gamma de 2 y 3, Log-Pearson tipo III, Gumbel y Log-Gumbel.
- Realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviográficos, así como la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno dado, a partir del registro de intensidades máximas.
- Permite el cálculo de la precipitación promedio por los métodos promedio aritmético, polígono de Thiessen e Isoyetas.
- El cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash)

#### **2.2.10.4. RIVER**

El programa RIVER se realizó para el diseño de defensas rivereñas a los márgenes de ríos, planteado por el ing. Emilse Benavides C., especialista de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura. El software hace los siguientes procesos:

- Cálculo de caudales de diseño.

- Cálculo de defensas enrocadas
- Diseños de canales

### **2.2.11. INUNDACIONES**

Estos eventos se originan por lluvias intensas o continuas que sobrepasaran la capacidad de caudal del río, la capacidad del suelo es sobrepasado y por efecto se genera un desborde de aguas, inundando los márgenes del río y abarcando todos los terrenos circundantes. Para los ámbitos de planificación en el desarrollo urbano y la planificación de uso de la tierra y poder identificar las zonas más críticas con susceptibilidad a inundaciones. Los factores que influyen directamente en este tipo de eventos es la desaparición de cubierta vegetal (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2014), estas se pueden clasificar como:

#### **2.2.11.1. POR SU DURACIÓN**

##### **a) Inundaciones rápidas o dinámicas**

Este tipo de inundaciones se genera en los ríos que se caracterizan por presentar pendientes fuertes y por efecto de lluvias intensas, los efectos que genera este tipo de inundaciones es crecidas repentinas del río pero con una corta duración, estos a su vez generan más daño a la población y a las infraestructuras de la zona ya que este tipo de inundación impide la reacción al instante.

##### **b) Inundaciones lentas o estáticas**

Este tipo de inundaciones se genera a partir de lluvias persistentes y generalizadas, estas producen un incremento paulatino en el caudal del río, que a la larga generan un sobrecargo de a la capacidad máxima de transporte, esto hace que desborde el río inundando zonas llanas que se les denominará llanuras de inundación.

### **2.2.11.2. POR SU ORIGEN**

#### a) Inundaciones pluviales

Este tipo de inundaciones se caracterizan por la acumulación de agua de lluvia en una determinada zona geográfica sin que este evento tenga implicancias en el desbordamiento de cauces fluviales, estos se generan por la presencia de lluvias intensas o persistentes, dicho de otra manera las lluvias pueden presentarse por un corto periodo de tiempo pero con una intensidad alta, o lluvias con poca intensidad pero por un periodo de tiempo muy prolongado sobre un suelo con características muy poco permeables.

#### b) Inundaciones fluviales

Este tipo de inundaciones se causan a partir del desborde del río y arroyo, esto se atribuye al incremento agresivo de volumen de agua que el cauce del río no puede transportar, y en consecuencia se desborda.

#### c) Inundaciones por rotura

Se puede dar por la rotura de presas aún así se considere una rotura pequeña debido a que la propagación de la onda de agua para el caso en particular será muy crítica cuando mayor sea el caudal contenido y menor el tiempo de propagación. Otra causa de inundación puede darse por efecto de la obstrucción de cauces artificiales o naturales, en algunas circunstancias las estructuras de puentes pueden obstaculizar el paso del agua que genere un incremento de posibilidades de inundación.

### **2.2.12. SOCAVACIÓN**

Cuando se presenta una crecida esta genera una alta turbulencia y por ende se aumenta la capacidad de arrastre en el cauce de la zona, lo cual genera un aumento de transporte de sedimentos. Dicho esto,

cuando el caudal disminuye a niveles normales en su cauce, todo el material transportado se deposita en el fondo del cauce, y esto a su vez genera una disminución en el lecho. (Toapaxi, 2015)

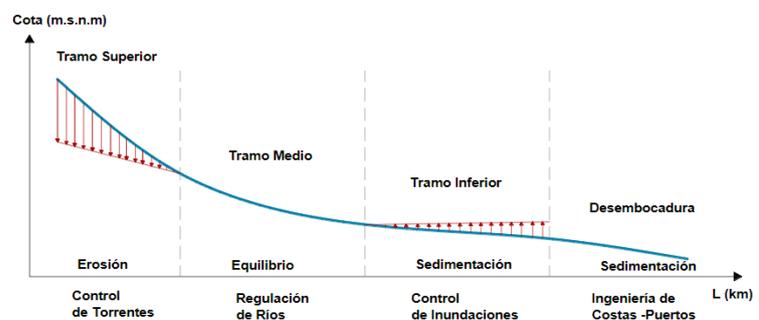
### 2.2.12.1. TIPOS DE SOCAVACIÓN

#### a) Socavación General

También se denomina socavación normal, esta consiste en un decrecimiento del fondo en toda su amplitud, esto debido al arrastre de material sedimentario causado por el aumento de la capacidad de flujo. El efecto de socavación en el fondo se genera por causa del desequilibrio entre el material que se transporta con el material que se remueve en una sección. Este tipo de efecto se genera por el régimen del flujo esta se puede ocurrir con o sin la presencia de una estructura en el cauce, esto se puede dar en cortos periodo de crecidas, o en intervalos largos con varias crecidas.

**Figura 30**

*Esquema de representación de cauce*



Nota. Trazo de cauce de canal idealizado. Toapaxi (2015)

#### b) Socavación Local

Esto se produce por causa de presencia en estrechamientos, curvas o estructuras a lo largo de la corriente de un río, esto provoca un aumento de intensidad de flujo con la capacidad remoyente en el lecho. En particular esta socavación se da en zonas limitadas, la cual se caracteriza por presencia de fuertes turbulencias, vórtices y remolinos que se

inducen por la obstrucción del agua. (Toapaxi, 2015)  
Estos se pueden clasificar de acuerdo a la obstrucción como:

- En estrechamientos  
Estos se presentan en las zonas donde cursa el río en el cual haya un estrechamiento relativamente brusco. Por ejemplo, en las zonas de cimentación de puentes, estrechamientos naturales en el ancho del río.
- En curvas  
A partir de la morfología del río se presenta este tipo de socavaciones a partir de que hay una mayor velocidad en la parte exterior de la curva, esto incrementa la capacidad el arrastre de sólidos la cual provoca una mayor profundidad de socavación para la zona.
- En pilas  
Para la socavación que se realiza en las pilas de los puentes se realiza con una alta velocidad esta se produce a causa de las velocidades altas en los alrededores de las estructuras, la que a la larga provoca la formación de vórtices en la parte trasera de la pila.

## 2.2.12.2. CÁLCULOS PARA LA SOCAVACIÓN

### a) Para la socavación general

**Tabla 13**

*Ecuaciones de socavación a largo plazo en cauces naturales*

SOCAVACIÓN GENERAL (A LARGO PLAZO)		
AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Lacey (1930)	$h_{ms} = 0,389 \left( \frac{Q^{1/3}}{d_m^{1/6}} \right)$	
Blench (1969)	Para arenas de $0,06\text{mm} < d_{50} < 2\text{mm}$ $h_{ms} = 1,200 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \right)$	Basado en estudios de ríos de grava gruesa
	Para arenas de $d_{50} > 2\text{mm}$ $h_{ms} = 1,230 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$	
Maza & Echavarría (1973)	$h_{ms} = 0,365 \left( \frac{Q^{0,784}}{B^{0,784} d_{50}^{0,157}} \right)$	Basado en alcances de varios autores, incluyendo estudios en Sudamérica $d_{50}$ en (m)
Lischtvan & Levediev (-)	$h_{ms} = 0,333 \left( \frac{q^{0,710}}{d_{50}^{0,199}} \right)$	Válido para el rango de las arenas $d_{50}$ en (m)
Kellerhals (-)	$h_{ms} = 0,470 \left( \frac{q^{0,800}}{d_{90}^{0,120}} \right)$	Válido para lechos de grava $d_{90}$ en (m)

*Nota.* Fórmulas generales para el cálculo de la socavación.

Toapaxi (2015)

Del cual se sabe:

$B$ = Ancho de superficie de agua (m)

$d_{m,50,90}$ = Diámetro medio, diámetro donde el 50% y 90% del material es fino (mm)

$h_{ms}$ = Profundidad media de socavación (m)

$Q$ = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$q$ = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s.m}$ )

**Tabla 14**

*Ecuaciones de socavación método analítico*

SOCAVACIÓN GENERAL (SUELOS HETEROGÉNEOS)		
AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Maza (1968)	Para estratos cohesivos: $H_s = \left( \frac{\alpha H_o^{5/3}}{0,60 \beta \gamma_s^{1,18}} \right)^{\frac{1}{1+\alpha}}$	$\alpha = \left( \frac{Q}{H_m^{5/3} W_e \mu} \right)$
	Para estratos no cohesivos: $H_s = \left( \frac{\alpha H_o^{5/3}}{0,68 \beta d_m^{0,28}} \right)^{\frac{1}{1+\alpha}}$	

*Nota.* Ecuación de socavación para métodos analíticos. Toapaxi (2015)

Del cual se sabe:

$d_m$  = Diámetro medio (mm)

$H_0$  = Diferencia entre el nivel del agua y el fondo (m)

$H_m$  = Profundidad media de sección (m)

$H_s$  = Profundidad de socavación (m)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$W_g$  = Ancho efectivo (m)

$\alpha$  = Coeficiente de distribución de gasto

$\gamma_s$  = Peso específico seco del material ( $t/m^2$ )

$\beta$  = Coeficiente de paso

$\mu$  = Factor de contracción

$1/(1 + x)$  = Dependiente del material

**b) Para la socavación local**

**Tabla 15**

*Socavación local en estrechamientos*

SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRECHAMIENTOS		
AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
<i>Laurson (1958, 1960, 1962, 1963)</i>	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1}$	Socavación en Lecho Móvil $Q = Q_{1m}$ (contracción cercana al canal principal) $n_1 = n_2$ (Coeficiente de rugosidad de Manning) $k_1 = 0,59$ para $u^*/w < 0,5$ $k_1 = 0,64$ para $0,5 < u^*/w < 2$ $k_1 = 0,69$ para $u^*/w > 2$
	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{6/7} \left(\frac{V_1^2}{36 y_1^{1/3} d_{50}^{2/3}}\right)^{3/7}$	Socavación en Agua Clara Unidades en S.I.
<i>Parker (1985)</i>	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_4}$	Socavación en Lecho Móvil Cauces de grava, no considera el acorazamiento (conservadora) $k_4$ varía entre 0,675 a 0,825
<i>Richardson &amp; Davis (1995)</i>	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_1}{Q_{1m}}\right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1}$	Socavación en Lecho Móvil basada en estudios anteriores incluyendo la ecuación de Laurson (1960)
<i>Richardson &amp; Davis (1995) / HEC-18</i>	$y_2 = 1,48 \left(\frac{Q_2}{d_m^{1/3} W_2}\right)^{6/7}$	Socavación en Agua Clara

Nota. Fórmula para el cálculo en estrechamientos. Toapaxi (2015)

Del cual se sabe:

$d_{m,50}$  = Diámetro medio (mm)

$K_1$  = Coeficiente que depende del radio de velocidad de corte

$Q_{1m}$  = Caudal aguas arriba que transporta sedimentos (m<sup>3</sup>/s)

$Q_2$  = Caudal en la zona contraída (m<sup>3</sup>/s)

$V_1$  = Velocidad de flujo (m/s)

$W_1$  = Ancho del cauce principal de aproximación (m)

$W_2$  = Ancho del cauce principal en la sección contraída (m)

$y_1$  = Calado de aproximación a la contracción (m)

$y_2$  = Calado en la contracción (m)

### **2.2.13. PROTECCIÓN PARA DESBORDES**

Las medidas para protección a desbordes y/o inundaciones es una mezcla entre elementos naturales con mecanismos que sirvan para la protección, a partir de ellos se puede plantear mecanismos de protección en el cual se incluyen medidas estructurales y no estructurales que faciliten el control artificial de crecidas de ríos. Como le define Aliados ante inundaciones (2017) “En este sistema hay componentes naturales (precipitación, escorrentía, carga de sedimentos), artificiales (medidas estructurales y no estructurales de protección) e institucionales (gestión y desarrollo). Todos son articulados bajo la visión de gestión de inundaciones para ofrecer seguridad a las poblaciones que pueden ser afectadas”.

#### **2.2.13.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES**

Este tipo de medidas comprenden obras de ingeniería con la finalidad de reducir o evitar los efectos que generen eventos de inundaciones a partir de un control del agua que tienda a desbordarse. Dentro de las medidas estructurales se tienen en cuenta obras como las defensas ribereñas y medidas complementarias o alternativas naturales, todas estas medidas las pueden clasificar como extensivas o intensivas.

##### a) Medidas extensivas

Se definen a las acciones que se aplican en la cuenca, estas intentan modificar las interacciones entre caudal y la precipitación de la zona:

- **Modificar la cobertura vegetal**  
Este tipo de medida es capaz de almacenar una porción del volumen de agua precipitada con la interferencia vegetal y por consecuencia incrementar la evapotranspiración, el cual genera una disminución en la velocidad de escurrimiento superficial de la cuenca hidrográfica. Este tipo de medidas se aplican en cuencas de pequeñas dimensiones.
- **Control de erosión del suelo**  
Este tipo de medidas para el control se basan en el control a partir de la reforestación en los márgenes del río con la aplicación de pequeños reservorios, estabilización y prácticas agrícolas que vayan de acuerdo con un control adecuado.

b) **Medidas intensivas**

Este tipo de medidas se ejecutan directamente en el río

- **Aceleramiento de escurrimiento**  
Para este tipo de medidas se plantean la construcción de diques en zonas con características húmedas, lagos y llanuras aluviales disecadas, con esto se plantea lograr un incremento en su capacidad de descarga y corte de meandros.
- **Diques**  
Este tipo de estructuras generalmente son de tierra o de concreto, con un perfil recto o inclinado, que edifican a los márgenes del río donde se identifiquen zonas de riesgo a inundaciones por desborde. En algunas circunstancias estas pueden ser enrocadas con

concreto, esto es dependiente de las características del lugar.

- Retardamiento del escurrimiento

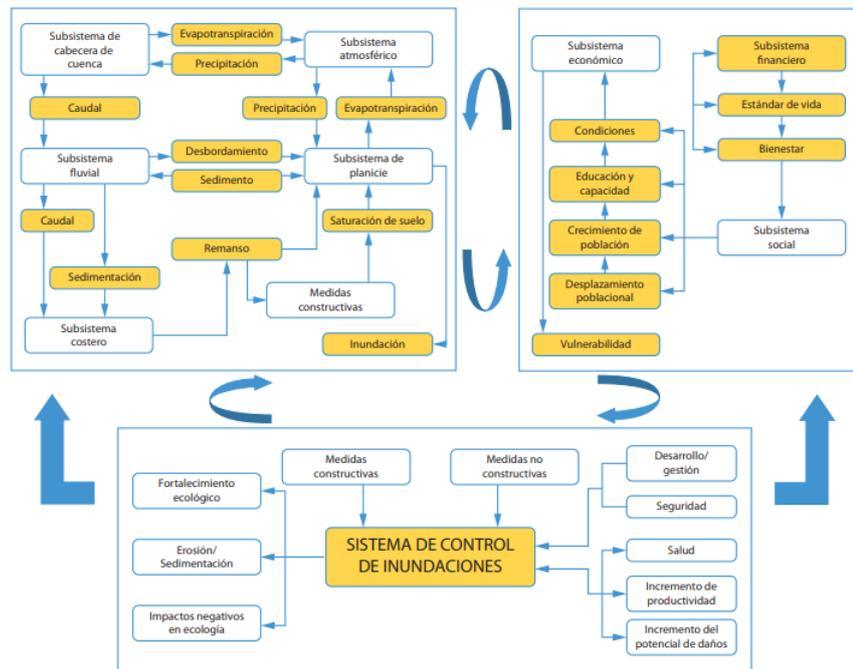
Este tipo de medidas plantea la construcción de reservorios con la finalidad del control de inundaciones con la finalidad exclusiva de mitigación de inundaciones, dependiendo de la situación.

- Desvío del escurrimiento

Este tipo de medidas son aplicadas a la morfología del río incrementando el caudal en un solo nivel, que reduce la frecuencia de ocurrencia. En el caso del aumento de la velocidad se requiere minimizar la rugosidad, esto a partir de la limpieza que quiten las obstrucciones al escurrimiento, dragando el río, incrementa el desnivel debido al corte de los meandros o incrementado la profundidad del río. Para la realización de este tipo de medidas se requiere de un presupuesto elevado.

**Figura 31**

*Relación de control de inundaciones con sistemas naturales y socioeconómicos*

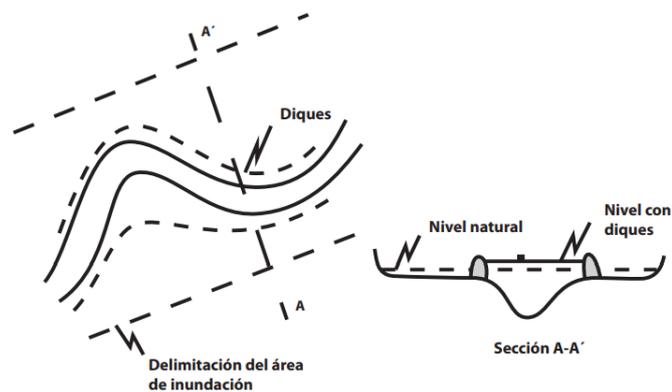


Nota. Esquema de inundaciones a partir de un sistema de inundaciones.

Aliados ante inundaciones (2017)

**Figura 32**

*Efectos de un dique*



Nota. Esquema en planta y elevación de estructuras de un dique. Aliados ante inundaciones (2017)

### 2.2.13.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Este tipo de medidas se basa en las modificaciones que se planteen no tengan una influencia en construcciones físicas y que solo se basaran en el planteamiento de conocimientos,

prácticas o acuerdos en organizaciones para disminuir el riesgo y los efectos que se obtengan no se consideren estructurales. En gran parte estas son medidas políticas y en legislaciones que tengan efecto en la conciencia pública, educación y capacitación entre las poblaciones afectadas, dentro de las medidas estructurales se pueden identificar las siguientes:

- Políticas en planeamiento urbano
- Códigos de construcción
- Aplicación de un sistema legislativo en ordenamiento territorial
- Organizaciones de alerta temprana
- Organización de evacuación y respuesta
- Aplicación de seguros e indemnizaciones
- Planes de acción y operación

En muchas medidas no estructurales el desafío se encuentra en la necesidad de involucrar la participación y el acuerdo de las partes interesadas y sus instituciones.

### **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

**Avenida:** “Crecida repentina de las aguas de un río. Aumento del nivel y gasto de agua en un río o arroyo a causa de las precipitaciones pluviales o el derretimiento rápido de la nieve en la parte alta de la cuenca”. (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Caudal:** “Cantidad o volumen de agua que transporta un río a través de una sección transversal en una unidad de tiempo. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s)”. (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Ciclo hidrológico:** “Sucesión de fases, en un proceso repetido continuamente, por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma: evaporación o transpiración del agua del suelo, mar y aguas continentales y la vegetación, condensación del agua en forma de nubes, precipitación del agua contenida en la atmósfera para regresar al océano a través de las aguas superficiales o subterráneas, o por

acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación. Se conoce también como ciclo del agua". (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Cuenca hidrográfica:** "Región terrestre a manera de una depresión o concavidad que abarca la zona en la que todas las aguas freáticas y superficiales drenan en el mismo cuerpo de agua (por ejemplo, un río o un arroyo), y que comprende todas las vertientes de captación del agua y todos los tributarios del río principal con sus respectivas subcuencas". (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Cultura de prevención:** "Es el conjunto de valores, principios, conocimientos y actitudes de una sociedad que le permiten identificar, prevenir, reducir, prepararse, reaccionar y recuperarse de las emergencias o desastres. La cultura de la prevención se fundamenta en el compromiso y la participación de todos los miembros de la sociedad". (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020)

**Defensa ribereña:** "Las defensas ribereñas son estructuras construidas para proteger de las crecidas de los ríos las áreas aledañas a estos cursos de agua". (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Erosión:** "Desgaste del suelo por acción de diversos factores naturales como los vientos (erosión eólica), lluvias (erosión pluvial), ríos (erosión fluvial). Las dos últimas forman parte de la erosión hídrica. Existen muchos tipos diferentes de erosión, por ejemplo: erosión acelerada, antrópica, en canalillos, en cárcavas, geológica, glaciar, inducida, laminar, lateral, por marea, por riachuelo". (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2022)

**Escurrimiento:** "Proceso del movimiento del agua en la superficie terrestre que se lleva a cabo fundamentalmente en las laderas, después de fuertes precipitaciones pluviales o deshielo". (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2014)

**Estación pluviométrica:** "Una estación pluviométrica en la estación principal encargada de medir la lluvia, muchas veces dentro de una estación meteorológica mayor. Estas estaciones se mantienen a menudo por las

autoridades encargadas del agua en un país para sus propios fines, a pesar de las sirven son muchas veces para las redes meteorológicas”. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020)

**Hidrología:** “La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares”. (Aparicio, 1992)

**Intensidad:** “Cantidad de agua recogida durante un intervalo de tiempo dado, por unidad de superficie”. (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2014)

**Inundación:** “Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y tsunamis”. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020)

**Lluvia intensa:** “Es una precipitación de agua en forma de gotas que caen con velocidad y de modo continuo. Según el tamaño de las gotas se clasifica en llovizna y lluvia”. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020)

**Periodo de retorno:** “Tiempo que pasa, en promedio, para que un fenómeno extraordinario como lluvia, ciclón, inundación se repita con una intensidad semejante en la misma zona”. (Villón, 2008)

## **2.4. HIPÓTESIS**

A partir de la aplicación del software River y su metodología se logrará diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación causados por un caudal crítico estimado en el río Huacarmayo.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Defensa ribereña

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Socavación

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

**Tabla 16**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTUAL	DEFINICIONES OPERACIONALES	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Defensa ribereña	Son estructuras construidas para proteger las áreas aledañas a los ríos, contra los procesos de erosión de sus márgenes, producto de la excesiva velocidad del agua, que tiende a arrastrar el material ribereño y la socavación que ejerce el río, debido al régimen de precipitaciones abundantes en épocas de invierno, siendo causantes de la desestabilización del talud inferior y de la plataforma de la carretera. (Pérez L. , 2022)	Para la mitigación de efectos por socavación se requiere del diseño de estructuras aplicadas a defensas ribereñas estas determinan a partir de los siguientes procesos: diseño preliminar de elementos estructurales, dimensionamiento de las estructuras y determinación de estabilidad.	Variable Dependiente	Composición del diseño estructural	Altura de dique Altura de enrocado Altura de uña Ancho de uña
				Valores de interés del río a encausar	Talud Caudal Velocidad
Socavación	Socavación o degradación a la remoción efectúa el agua las partículas sólidas constituyentes de	La socavación se puede determinar a partir de la caracterización hidráulica de la zona que se desea	Variable Independiente	Caracterización hidrológica	Modelo de terreno Pendiente Características de rugosidad del suelo

<p>un lecho fluvial y caracterizar, esto cuyo resultado es se realiza una profundización mediante la del cauce. (Pérez L. determinación del , 2022) caudal que se transporta y la velocidad en la cual se traslada en un determinado cauce, con lo cual también implica analizar las características del canal en cual se transporte dicho caudal.</p>	<p>Precipitaciones Periodo de retorno Estimación de caudales Identificación de secciones del río Valores de tirante hidráulico Pendiente del río Velocidad Caudal</p>
--	---

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. ENFOQUE

Un enfoque cuantitativo, representa un conjunto de procesos secuenciales en el cual es de importancia no saltarse ningún procedimiento previsto. Este planteamiento va desde el acortamiento y delimitación que se derivarán en el planteamiento de preguntas de investigación. (Hernández, 2014)

La presente investigación se basó en un enfoque **cuantitativo** dado que se presentaron procesos secuenciales que pretenden demostrar parámetros.

##### 3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Se puede definir a un alcance explicativo como el que está orientado a la respuesta causal de un fenómeno y se enfoca en la explicación de por qué se ocasionan estos fenómenos en qué condiciones son manifestadas y como relacionan a las variables. (Hernández, 2014)

Esta investigación tiene un alcance **explicativo** ya que esta investigación se basó en la relación que hay entre los efectos de socavación y una posible solución.

##### 3.1.3. DISEÑO

Se define al diseño no experimental cuantitativo al tipo de investigación que no se ejecuta a partir de la manipulación de variables de forma deliberada. Dicho de esto pues se plantea que una investigación no experimental no hace variar intencionalmente variables independientes para ver el efecto que tenga en otras. (Hernández, 2014)

Esta investigación se basó en un diseño **no experimental** ya que la investigación se encargó de observar el fenómeno tal como se da de manera natural para su análisis.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

Se define la delimitación de la población que se va a enfocar en su estudio la cual se puede denominar como muestreo/análisis, de la cual se podrán generalizar los resultados obtenidos, dicho de otra forma, una población viene a ser todos los casos que concuerden con la serie de especificaciones. (Hernández, 2014)

Para la investigación se planteó que la población sea el cauce del río Huacarmayo.

### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra viene a ser un subgrupo de la población, dicho de otra forma, es un subconjunto de elementos que pertenecen a la población delimitada. (Hernández, 2014)

La muestra que se toma para la investigación es el tramo de 1.00 km del río Huacarmayo que se encuentra en la localidad de Viray desde la coordenada  $10^{\circ} 9'31.90''S - 76^{\circ}14'28.49''O$  a  $10^{\circ} 9'30.41''S - 76^{\circ}14'1.85''O$ .

## **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.3.1. TÉCNICAS**

#### **3.3.1.1. PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL TERRENO**

**Observación:** Se hicieron visitas a la zona de interés con el fin de caracterizar e identificar las características del suelo que presenta las riberas del río Huacarmayo, con esta caracterización se logró identificar ciertas propiedades de infiltración de suelo y determinar la capacidad portante característica del tipo de suelo que se encuentre en la zona, estos valores se complementaron con la elaboración de un modelo topográfico a gran escala la cual comprende una zona extensa de la cuenca y otro modelo en la cual se centre solo en

la zona del río Huacarmayo, con ello se logró establecer un modelo más completo del terreno teniendo así una caracterización completa de la zona que comprende la subcuenca en la que se encuentra el río Huacarmayo y el río mismo.

**Recopilación documental:** Se procedió a descargar imágenes DEM del servidor internacional Earth Explorer para poder así determinar los límites de la subcuenca del Alto Huallaga b/Qbd Tranca, esto con la finalidad de obtener información detallada de las isoyetas que se interpolan a través del terreno que se obtuvo y la localización de las estaciones que se consideraron como relevantes para el estudio. Esto sirvió de base para poder tener en cuenta cuales son las precipitaciones medias que se forman en el río Huacarmayo y poder así seleccionar de mejor manera la estación base del cual se trabaja el análisis hidrológico. Con relación a la subcuenca que forma el río Huacarmayo en su recorrido, se descargó imágenes DEM en este caso de las cartas nacionales, esto a causa de que la zona de interés es de una menor dimensión en comparación a las imágenes que se pueden obtener de los servidores internacionales, obteniéndose así los límites de la cuenca a partir de un proceso de hidrología que brinda como parte de sus herramientas el software ArcGis. Para la identificación de la cobertura vegetal que se encuentra en la zona se usaron las cartas de cobertura nacional realizadas por el MINAGRI en el 2013 ya que esta es una de las bases de información más confiables.

### **3.3.1.2. PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES**

**Recopilación documental:** Los registros históricos de precipitaciones que se obtuvieron para la investigación fueron recolectados de los servidores del SENAMHI, esta institución recolecta los datos hidrometeorológicos a nivel nacional con un nivel de confiabilidad medio, lo cual hace que se requieran de

análisis estadísticos para poder determinar la confiabilidad de la información recolectada, dicha determinación de confiabilidad se estimó a partir de un análisis visual u observación de la gráfica que se genera a partir de las precipitaciones máximas acumuladas en la zona y determinar la gráfica más estable de entre las estaciones seleccionadas para la investigación, con ello se logró tener una uniformidad relativa en los datos registrados y que sean los menos alterados por factores humanos o externos a las lecturas, a partir de ello se estimó la estación más adecuada de la cual se pudo realizar los valores de estimación a partir de periodos de retorno establecidos, los valores de precipitación proyectados se realizan a partir de series de distribución las cual fueron sometidas a un análisis de parámetro con el cual se pude cuantificar el valor de proximidad a la serie los valores recolectados, a partir de la estimación de los valores de precipitación se procedió a estimar los valores de caudal a partir de formulas establecidas en los manuales de hidrología las cuales se basan en la caracterización del suelo de la cuenca con la estimación de la intensidad de precipitación se lograron determinar los valores de caudal con lo cual se elaboraron los modelos hidráulicos.

### **3.3.2. INSTRUMENTOS**

#### **3.3.2.1. PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL TERRENO**

***Ficha de registro de datos:*** De las imágenes DEM que se recolectaron de los servidores estatales estas fueron procesadas presentándose para los parámetros geomorfológicos determinados en la siguiente tabla:

**Tabla 17***Ficha de características geométricas*

Datos de la cuenca		
<b>Geometría</b>		
Área	Km <sup>2</sup>	
Perímetro	km	
Ancho	km	
Largo	km	
<b>Valores de las Cotas</b>		
Cota mínima	msnm	
Cota Máxima	msnm	
<b>Coordenadas</b>		
Centroide X	m	
Centroide Y	m	
Centroide Z	msnm	
<b>Altitudes de la cuenca</b>		
Altitud Media	msnm	
Altitud mas frecuente	msnm	
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	
<b>Pendiente de la cuenca</b>		
Pendiente de la cuenca	%	
<b>Hidrografía</b>		
Longitud del Cauce Principal	km	
Orden de la red Hídrica	Adimensional	
Longitud de la red Hídrica	km	
Pendiente promedio de la red hídrica	%	

De la cual se presentaron las características geométricas como el área el perímetro y las alturas que se presenten para la caracterización de la cuenca, esta ficha se elaboró con a finalidad de cuantificar valores relevantes para la caracterización de la cuenca y la sub cuenca en la cual se encuentra en río Huacarmayo, dicha ficha se rellenó a partir del modelo cartográfico elaborado en el software ArcGIS de la cual se pueden obtener todos los parámetros geométricos de la cuenca.

**Tabla 18***Ficha de parámetros geomorfológicos*

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca			
Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F		S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K		S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L		km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I		km
Densidad de Drenaje	Dd		u/km <sup>2</sup>
Índice de pendiente	Ip		S/N

De la caracterización de alturas se determinaron en la tabla los valores característicos de los factores que se presentan en la cuenca los cuales sirven como información para identificar la naturaleza de la cuenca y las características que se presenten en la misma, esta información se puede estimar a partir de la metodología de altitudes modeladas en el software ArcGIS, estos valores se pueden estimar a partir de relaciones entre parámetros geométricos.



**Tabla 20**

*Ficha para parámetros estadísticos*

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS				
ESTACIÓN:				
LATITUD:				
LONGITUD:				
ALTITUD:				
REGIÓN:				
PROVINCIA:				
DISTRITO:				
N°	ESTACIÓN	AÑO	P mensual máx. (mm)	Log P
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
PROMEDIO (mm)				
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)				
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA				
K/6				
Ni				
MÁXIMO				

Realizados los parámetros estadísticos se procedió a determinar los valores de ajuste y proyecciones de precipitaciones los cuales se sometieron a un ajuste y posteriormente a una prueba de bondad denominada Smirnov Kolmogorov.

**Tabla 21**

*Ficha de análisis Smirnov Kolmogorov.*

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV	
RESUMEN	
DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO
NORMAL	
LOG-NORMAL	
LOG-NOMAL 3P	
LOG-GUMBEL	

**Tabla 22**

*Ficha de determinación de la mejor distribución de ajuste*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS ANUALES			
DISTRIBUCIÓN	N°	T (años)	P (mm)

De los cuales se pudieron determinar los valores de caudales de diseño con diferentes metodologías del cual se determinó el más óptimo en la presente circunstancia.

**Tabla 23**

*Ficha de determinación de caudales de diseño*

CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS (m <sup>3</sup> /s)			
T(años)	MET. RACIONAL	MET. MAC MATH	MET. MAC MATH CON DYCK PESCHKE

### **3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

Una vez recolectado y organizado los valores de determinación se procede a la interpretación de los mismo, los cuales se realizaron a partir de observaciones en la cual se pudieron determinar los valores de interés en cada uno de los casos.

#### **3.3.3.1. PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL TERRENO**

Obtenidas las imágenes DEM se procedió a analizar y procesar las imágenes en el software ArcGIS el cual presenta en su catálogo de Toolboxes la herramienta de Hidrology el cual pues se centra en la delimitación de las cuencas de interés a partir de sus redes hídricas las cuales requieren puntos de aforo que son previamente determinados, esto facilitó la determinación e interpretación de características geométricas y geomorfológicas que se presenten en la zona llevando a tabla de resúmenes como se muestra en el apartado anterior.

#### **3.3.3.2. PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES**

Los valores de precipitaciones fueron netamente tratados en Hojas de Cálculo Excel esto debido a que el software cuenta con los comandos de programación que facilitan el proceso de ajuste, parámetros estadísticos y determinación de pruebas de bondad. Una vez que se determinan las intensidades de precipitación y los caudales de diseño, esto pasan a ser tratados en el software HEC-RAS los cuales sirvieron como plataforma de simulación de eventos con los cuales se pudieron

determinar las zonas de inundación para luego exportarlos al software ArcGIS y elaborar los mapas temáticos los cuales facilitaron la identificación de zonas que presentan un requerimiento de defensas ribereñas, los cuales fueron determinados en dimensiones en el software River que brinda una interfaz factible y fácilmente manipulable con la cual finalmente se obtuvieron los resultados que se plantearon como objetivos.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

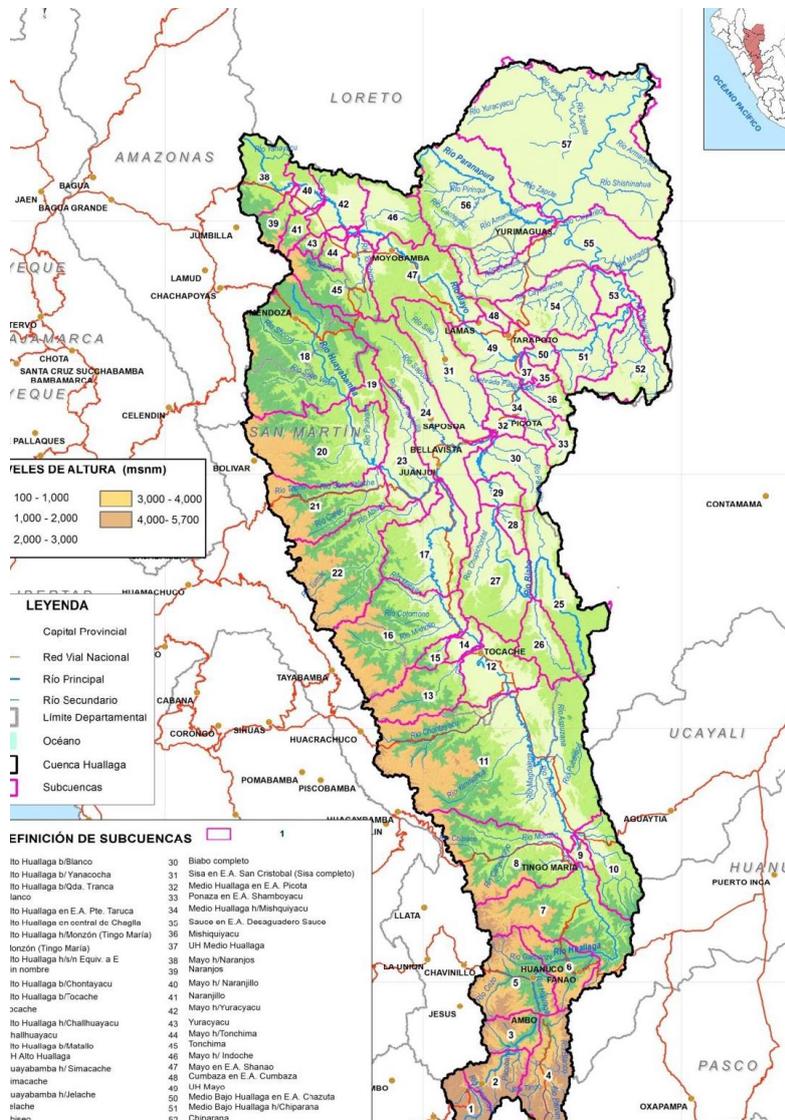
### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA ALTO HUALLAGA B/QDA. TRANCA

El río Huacarmayo se encuentra dentro de la cuenca del Alto Huallaga y en la sub cuenca denominada Alto Huallaga b/Qda. Tranca, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 33**

*Subcuencas a partir de puntos de control*

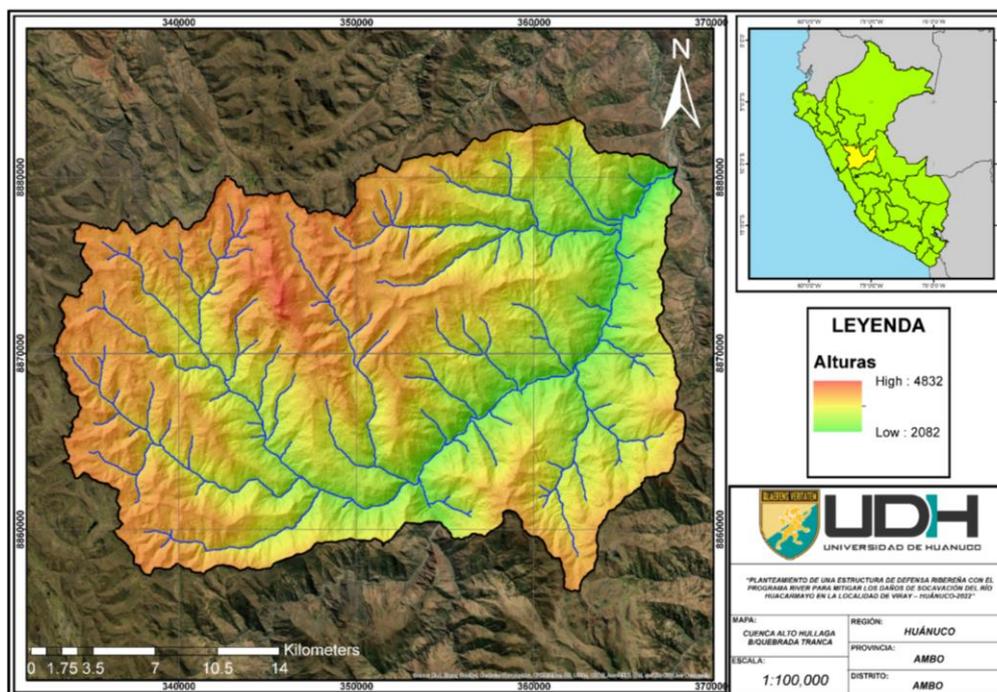


Nota. Mapa de delimitación de subcuencas del alto Huallaga. ANA (2015)

A partir de ello se puede identificar que la zona de interés se encuentra en el área 3 de la Figura 34, a partir de ello se pueden caracterizar la subcuenca de interés del cual se obtuvo los siguientes resultados:

**Figura 34**

*Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*



A partir del cual se pueden identificar los siguientes parámetros morfológicos con la finalidad de identificar las características que se presentan:

**Tabla 24**

*Características de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*

Datos de la cuenca		
Geometría		
Área	Km <sup>2</sup>	689.58
Perímetro	km	173.9
Ancho	km	22.66
Largo	km	37.65
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	2082
Cota Máxima	msnm	4832
Coordenadas		
Centroide X	m	351262.57
Centroide Y	m	8869812.62
Centroide Z	msnm	3630.641784

<b>Altitudes de la cuenca</b>		
Altitud Media	msnm	3630.641784
Altitud más frecuente	msnm	4999.5
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3494.38
<b>Pendiente de la cuenca</b>		
Pendiente de la cuenca	%	8.62
<b>Hidrografía</b>		
Longitud del Cauce Principal	km	35.75
Orden de la red Hídrica	Adimensional	5
Longitud de la red Hídrica	km	347.98
Pendiente promedio de la red hídrica	%	21.27

Del cual se pueden identificar los valores de las áreas y algunos valores que son de utilidad para determinar los parámetros de la cuenca que se quiera identificar el cual se pudo determinar de la siguiente forma:

**Tabla 25**

*Parámetros Geomorfológicos de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*

<b>Parámetros Geomorfológicos de la cuenca</b>			
<b>Nombre del Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Factor Forma	F	0.60	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.85	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	78.12	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I	8.83	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.50	u/km <sup>2</sup>
Índice de pendiente	Ip	0.32	S/N

Estos valores que se determinaron para los parámetros geomorfológicos sirvieron de utilidad para el planteamiento de la escorrentía y el tiempo de retorno que se determinaron para toda la amplitud de la cuenca las cuales fueron de utilidad para hallar la particularidad de la zona de investigación que se tomó en esta investigación.

A partir de la caracterización geomorfológica se identificaron las estaciones que se encuentren cercanas a toda la subcuenca con la finalidad de obtener los valores de las isoyetas para la zona, para la cual se tomaron en cuenta las estaciones:

**Tabla 26**

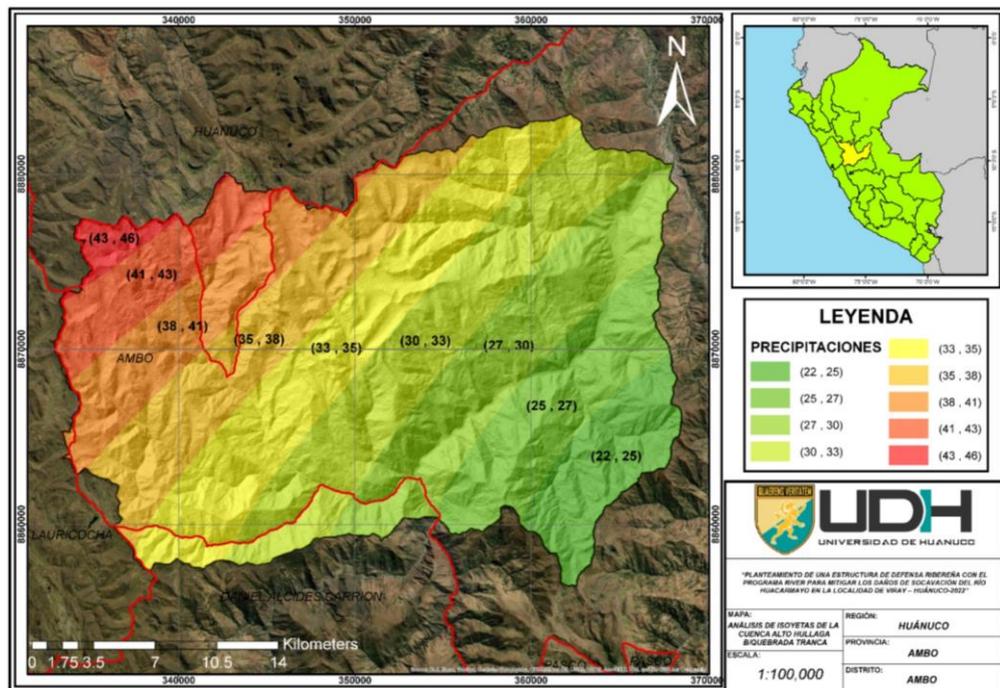
*Estaciones cercanas a la subcuenca*

NOMBRE	COORD. X	COORD. Y	PRECIPITACIONES ANUALES
EST. CANCHAN	356425.5	8903045	38.53
EST. HUÁNUCO	363196.2	8901207	35.86
EST. PTE TARUCA	373691.3	8910893	63.57
EST. JACAS CHICO	335428.7	8906963	89.53
EST. SAN RAFAEL	370521.1	8856727	13.69

A partir de estos valores de precipitaciones anuales obtenidas del SENAMHI se lograron plantear las isoyetas para toda la subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca, el cual se presenta a continuación.

**Figura 35**

*Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca isoyetas*



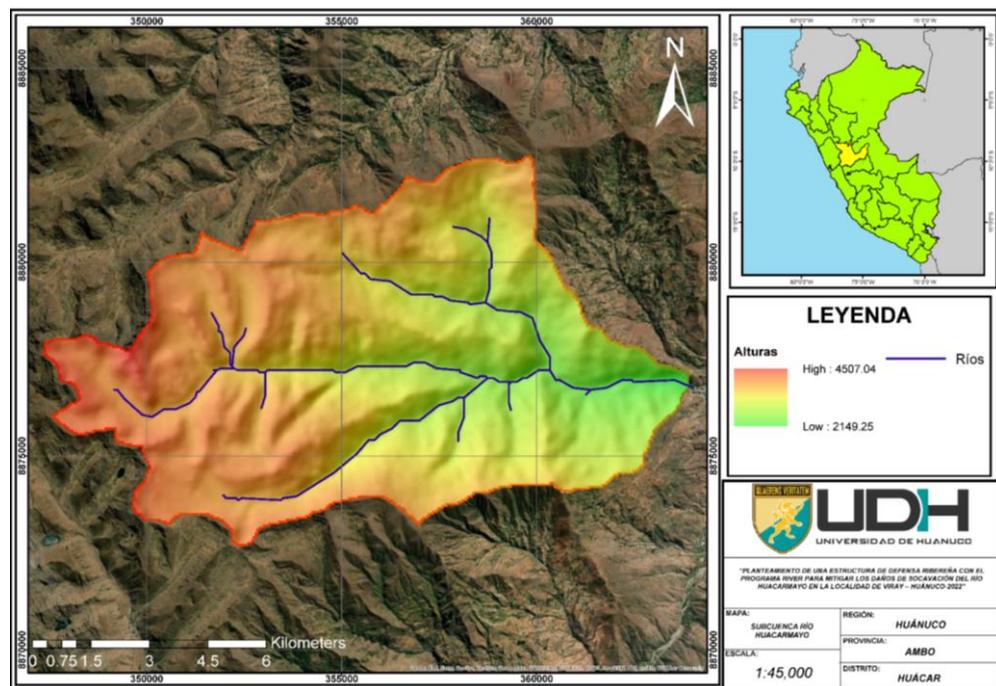
El mapeo de las isoyetas sirve como valores referenciales al momento de identificar con que valores de caudales se puede trabajar en la zona en específico, a partir de esta figura se pudo determinar un rango de valores de precipitación adecuados para la zona.

#### 4.1.2. DELIMITACIÓN PARA LA CUENCA QUE GENERA EL RÍO HUACARMAYO

A partir de la parametrización de los valores de precipitación en general se procedió a delimitar la cuenca específica que genera el río Huacarmayo, para lo cual al igual que para la sub cuenca se realizaron una serie de caracterizaciones con la finalidad de obtener información relevante de su geomorfología. A continuación, se muestran los resultados.

**Figura 36**

*Cuenca formada por el río Huacarmayo*



A partir de la delimitación de la cuenca se pudieron identificar las características y parámetros que rigen a esta zona de interés, cabe aclarar que el punto de aforo para la delimitación de la cuenca fue tomado a partir de donde inicia la localidad de Viray.

**Tabla 27**

*Características de la cuenca formada por el Huacarmayo*

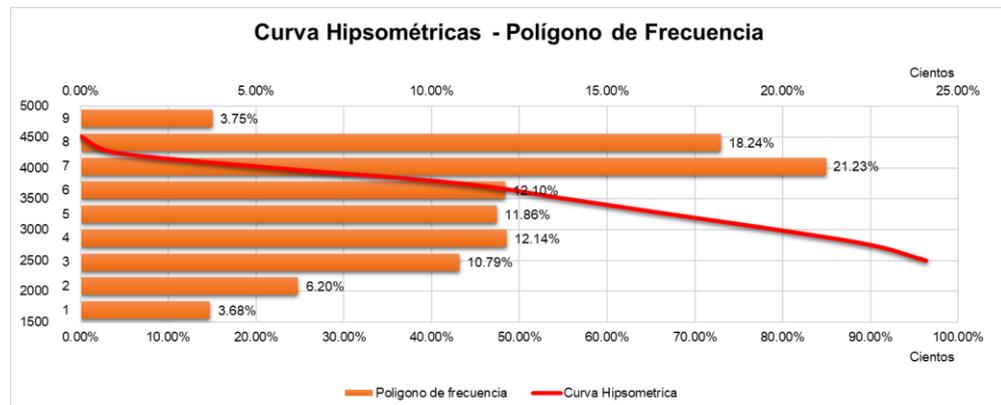
Datos de la cuenca	
Geometría	
Área	Km <sup>2</sup> 97.28
Perímetro	km 61.3
Ancho	km 8.72
Largo	km 16.513

Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	2149.247
Cota Máxima	msnm	4507.04
Coordenadas		
Centroide X	m	355607.45
Centroide Y	m	8877488.06
Centroide Z	msnm	52.430123
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	52.430123
Altitud más frecuente	msnm	3875
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3516.46
Pendiente de la cuenca		
Pendiente de la cuenca	%	36.88
Hidrografía		
Longitud del Cauce Principal	km	12.49
Orden de la red Hídrica	Adimensional	3
Longitud de la red Hídrica	km	40.23
Pendiente promedio de la red hídrica	%	22.46

A partir de ello se logró también determinar los valores para la elaboración de los polígonos de frecuencia y la curva hipsométrica que se muestra en el siguiente gráfico:

**Figura 37**

*Polígono de frecuencia y curva hipsométrica cuenca formada por el río Huacarmayo*



Con estos valores en conjunto se pueden determinar los parámetros geomorfológicos que presenta la cuenca en la cual se está trabajando, la cual se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 28**

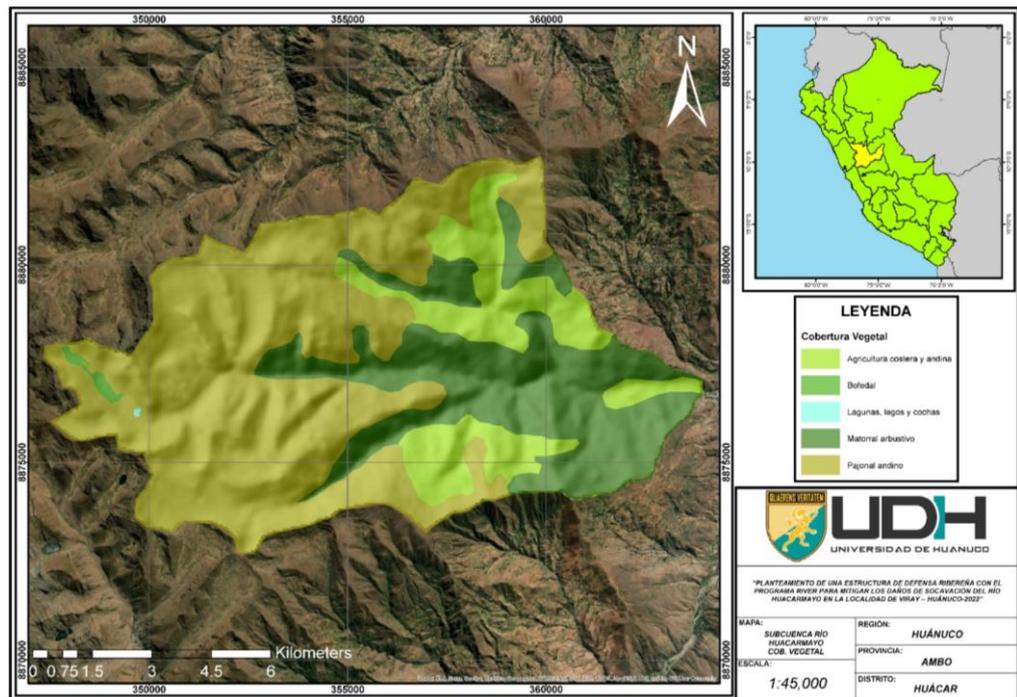
*Parámetros Geomorfológicos de la cuenca formada por el río Huacarmayo*

<b>Parámetros Geomorfológicos de la cuenca</b>			
<b>Nombre del Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Factor Forma	F	0.53	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.74	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	27.05	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I	3.60	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.41	u/km <sup>2</sup>
Índice de pendiente	Ip	0.56	S/N

De esta delimitación de la cuenca también se pudo identificar el tipo de cobertura vegetal que se encuentra en la zona, ya que estos valores servirán para la determinación de los caudales de diseño que se planteó en la investigación, los cuales se presentan de la siguiente manera:

**Figura 38**

*Cobertura vegetal*



A partir de la identificación de las coberturas vegetales se pudo determinar los valores de superficie que cada una de ellas ocupa, estas pues serán aplicadas en los diferentes métodos de determinación de caudales, los resultados se presentan a continuación:

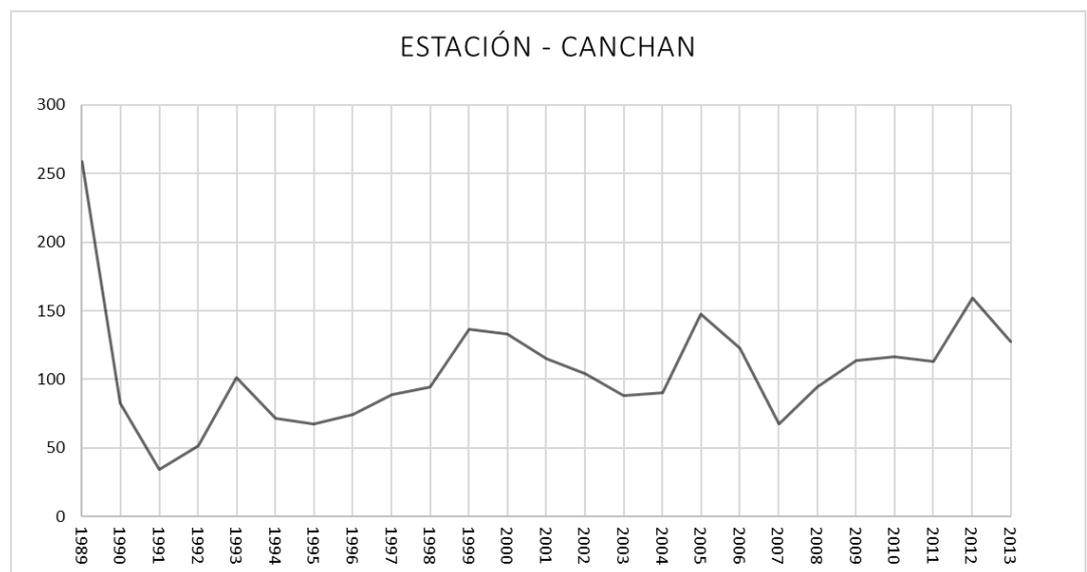
**Tabla 29***Características de suelo de la zona de interés*

N°	Tipo de Cobertura	ÁREA (has)	COBERTURA	TEXTURA	PENDIENTE	C-RACIONAL	C-Mac-Math
1	Bofedal	46.800	1%	Ligera	36.877	0.36	0.480
2	Lagunas, lagos y cochas	3.120	0%	-	36.877	0.36	0.480
3	Matorral arbustivo	2715.724	32%	Media	36.877	0.36	0.480
4	Pajonal andino	5604.697	67%	Media	36.877	0.36	0.480

Los valores de los coeficientes fueron determinadas a partir de ponderaciones que se realizan teniendo en cuenta las características de suelo que presenta la zona de interés.

#### 4.1.3. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Para el análisis de la hidrología y precipitaciones de la zona de Viray se tomó en cuenta las estaciones que se presentan en la Tabla 19 en un periodo de 25 años los cuales son entre los años 1989 a 2013, de las cuales a partir de los procedimientos que se presentaran más adelante se determinó que la estación más óptima y que se ajusta mejor a la zona de estudio es la de la estación Canchan, las cuales presentan valores de precipitación máxima como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 39***Precipitaciones máximas en la estación Canchan*

Esto se logró a partir de la comparación y el análisis de consistencia de datos a lo largo del periodo de 1989 al 2013, estos valores son tomados las precipitaciones máximas tomadas mensualmente, los valores se muestran en la siguiente Tabla:

**Tabla 30**

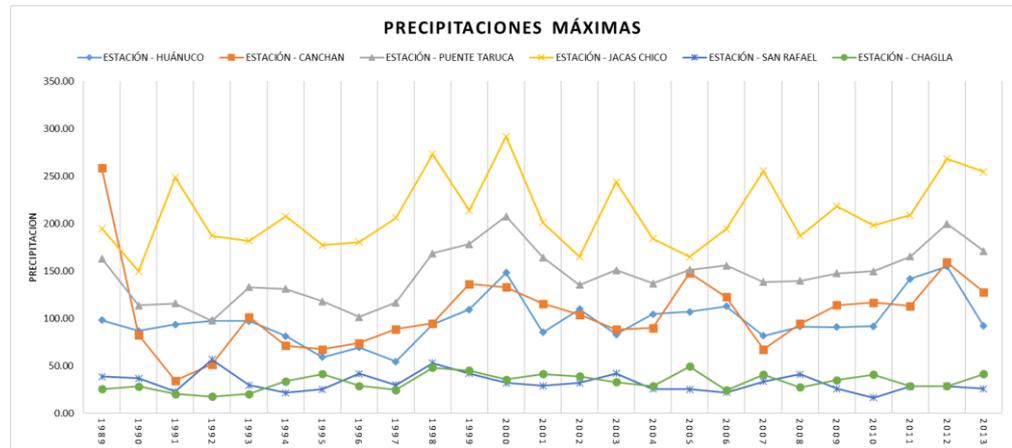
*Análisis de consistencia de datos*

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS						
AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN	ESTACIÓN - HUÁNUCO	ESTACIÓN - PUENTE TARUCA	ESTACIÓN - JACAS CHICO	ESTACIÓN - SAN RAFAEL	ESTACIÓN - CHAGLLA
1989	258.600	98.19	163.00	194.800	38.500	25.500
1990	82.590	86.80	113.75	149.800	36.800	28.100
1991	34.400	93.40	115.67	248.890	22.800	20.400
1992	51.400	97.40	97.59	187.190	56.700	17.700
1993	101.300	97.30	132.99	181.600	29.400	20.400
1994	71.400	81.19	130.96	207.690	21.600	33.600
1995	67.400	59.00	117.82	177.000	25.100	41.500
1996	74.090	69.30	101.31	180.500	41.800	28.700
1997	88.690	54.59	116.61	206.190	29.900	24.600
1998	94.690	93.50	168.60	273.290	52.900	48.000
1999	136.300	109.30	178.47	213.800	41.900	45.000
2000	132.890	148.10	207.76	291.700	32.000	35.500
2001	115.400	85.19	164.19	201.100	28.800	41.500
2002	103.800	109.80	135.22	164.890	31.900	38.800
2003	88.190	83.09	150.94	243.890	42.100	32.800
2004	89.900	104.59	136.79	184.100	25.500	28.600
2005	147.800	106.90	151.04	164.800	25.100	49.200
2006	122.500	112.69	155.63	194.100	21.800	24.400
2007	67.300	81.59	138.22	255.600	33.500	40.800
2008	94.400	91.30	139.62	187.300	41.100	27.400
2009	114.000	90.80	147.45	218.190	25.700	35.000
2010	116.590	91.59	149.59	198.300	16.400	40.600
2011	113.190	141.60	165.16	208.690	28.200	28.400
2012	159.000	154.69	199.81	268.390	28.600	28.600
2013	127.690	92.00	171.00	254.500	25.700	41.500

A partir de la cual también se pueden lograr análisis gráfico de las precipitaciones máximas en la zona, las cuales resultaron de la siguiente manera:

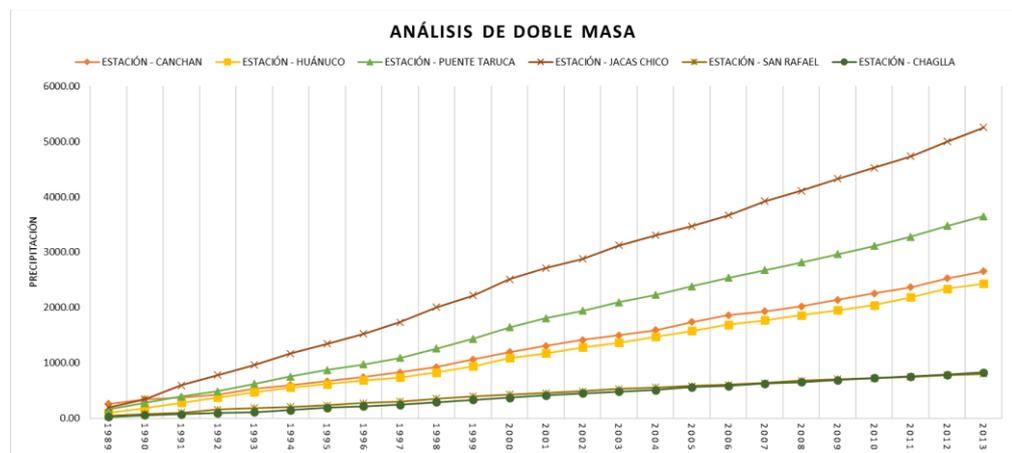
**Figura 40**

*Precipitaciones máximas de las estaciones consideradas*



**Figura 41**

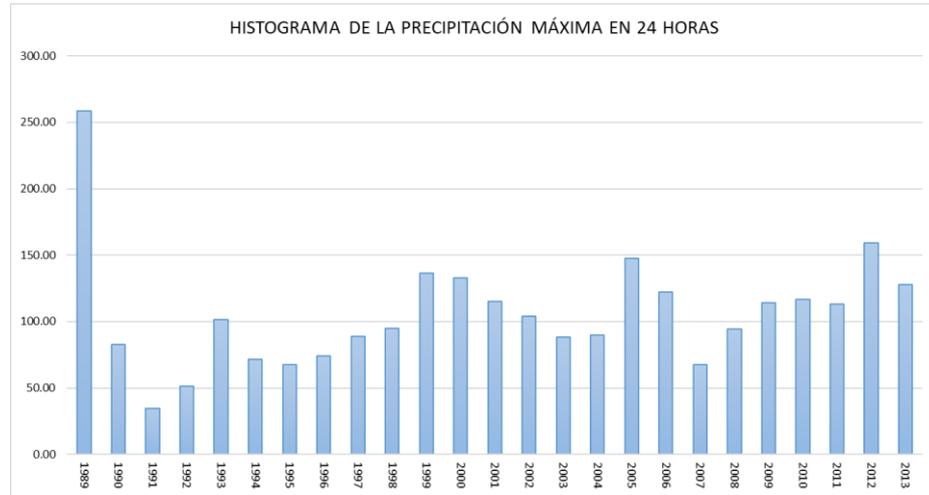
*Análisis de doble masa para las estaciones*



A partir de los análisis pues se toma como base la información de la estación de Canchan la cual se ajusta de mejor manera para la zona y presenta pocas perturbaciones en su caracterización de datos. A partir de ellos se obtienen los siguientes histogramas:

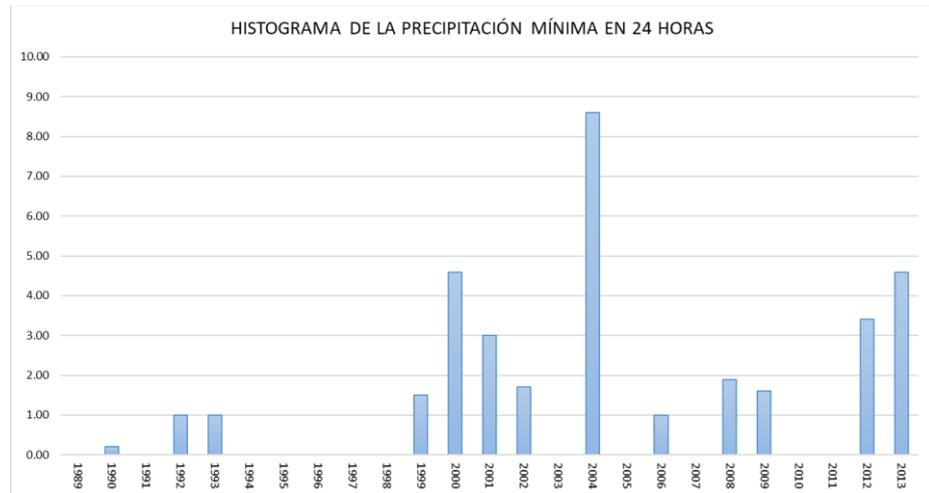
**Figura 42**

*Histogramas de precipitaciones máximas en 24 hrs*



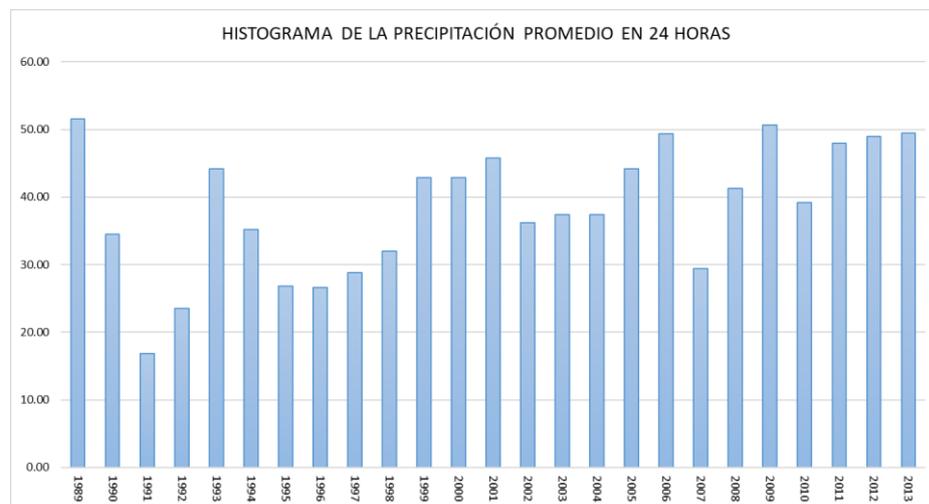
**Figura 43**

*Histogramas de precipitaciones mínimas en 24 hrs*



**Figura 44**

*Histogramas de precipitaciones promedio en 24 hrs*



De ellos se puede analizar los comportamientos en cuanto a precipitaciones la cual, pues se puede ver que el comportamiento de la zona no es constante, sino que a medida de los años analizados se puede decir que estos tienden a crecidas y a disminuciones no muy accidentadas, sino que siguen un proceso más calmado y con un comportamiento no tan agresivo.

Una vez determinada la estación más adecuada para el estudio se procede a realizar un proceso estadístico para determinar la proyección con diferentes periodos de retorno, inicialmente se partió de la determinación de algunos parámetros estadísticos que se muestran a continuación:

**Tabla 31**

*Parámetros estadísticos para la estación Canchan*

<b>PARÁMETROS ESTADÍSTICOS</b>				
<b>ESTACIÓN:</b>	CANCHAN			
<b>LATITUD:</b>	356425.5			
<b>LONGITUD:</b>	8903044.5			
<b>ALTITUD:</b>	1986			
<b>REGIÓN:</b>	HUÁNUCO			
<b>PROVINCIA:</b>	HUÁNUCO			
<b>DISTRITO:</b>	HUÁNUCO			
<b>N°</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>AÑO</b>	<b>P mensual máx (mm)</b>	<b>Log P</b>
1	CANCHAN	1989	258.60	2.41263
2	CANCHAN	1990	82.59	1.91693
3	CANCHAN	1991	34.40	1.53656
4	CANCHAN	1992	51.40	1.71096
5	CANCHAN	1993	101.30	2.00561
6	CANCHAN	1994	71.40	1.85370
7	CANCHAN	1995	67.40	1.82866
8	CANCHAN	1996	74.09	1.86976
9	CANCHAN	1997	88.69	1.94787
10	CANCHAN	1998	94.69	1.97630
11	CANCHAN	1999	136.30	2.13450
12	CANCHAN	2000	132.89	2.12349
13	CANCHAN	2001	115.40	2.06221
14	CANCHAN	2002	103.80	2.01620
15	CANCHAN	2003	88.19	1.94542
16	CANCHAN	2004	89.90	1.95376
17	CANCHAN	2005	147.80	2.16967

18	CANCHAN	2006	122.50	2.08814
19	CANCHAN	2007	67.30	1.82802
20	CANCHAN	2008	94.40	1.97497
21	CANCHAN	2009	114.00	2.05690
22	CANCHAN	2010	116.59	2.06666
23	CANCHAN	2011	113.19	2.05381
24	CANCHAN	2012	159.00	2.20140
25	CANCHAN	2013	127.69	2.10616
<b>PROMEDIO (mm)</b>			106.140	1.99361
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			43.573	0.17287
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)</b>			0.411	0.08671
<b>COEFICIENTE DE ASIMETRÍA</b>			1.681	-0.31563
<b>K/6</b>			0.280	-0.05261
<b>N°</b>			25.000	25.00000
<b>MÁXIMO</b>			258.600	2.41263

A partir de ello se procedió a determinar las distribuciones que se ajustan a los valores y para los cuales se va a determinar los valores de delta que servirán como parámetro para la identificación de la distribución más adecuada para la estación;

**Tabla 32**

*Deltas para diferentes parámetros de distribución*

<b>RESUMEN</b>	
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>DELTA TEÓRICO</b>
<b>NORMAL</b>	0.0975
<b>LOG-NORMAL</b>	0.0825
<b>LOG-NOMAL 3P</b>	0.0688
<b>LOG-GUMBEL</b>	0.1404

Min **0.0688 = LOG-NOMAL 3P**

El procedimiento que se siguió para la determinación de los valores de delta está completamente realizado en los Anexos de la investigación,

A partir de la determinación de los deltas que se obtuvieron de las distribuciones que se consideraron se selecciona el de menor valor ya que estas son las que mejor se ajusta a la serie de datos, la presente investigación determino que la mejor distribución de ajuste según la metodología de Smirnov- Kolmogorov es la del Log-Normal de 3 parámetros a partir del cual se puede determinar proyecciones de

precipitación para diferentes periodos de retorno, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 33**

*Valores de precipitación de acuerdo a la distribución seleccionada*

<b>PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS ANUALES</b>			
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>T (años)</b>	<b>P (mm)</b>
LOG-NOMAL 3P	1	<b>10</b>	160.52
	2	<b>50</b>	211.93
	3	<b>100</b>	233.47
	4	<b>150</b>	246.04

De ello pues se pueden determinar las intensidades de precipitación para la zona de interés los cuales fueron calculados a partir de la metodología planteada por Bell, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 34**

*Intensidades de precipitación determinada*

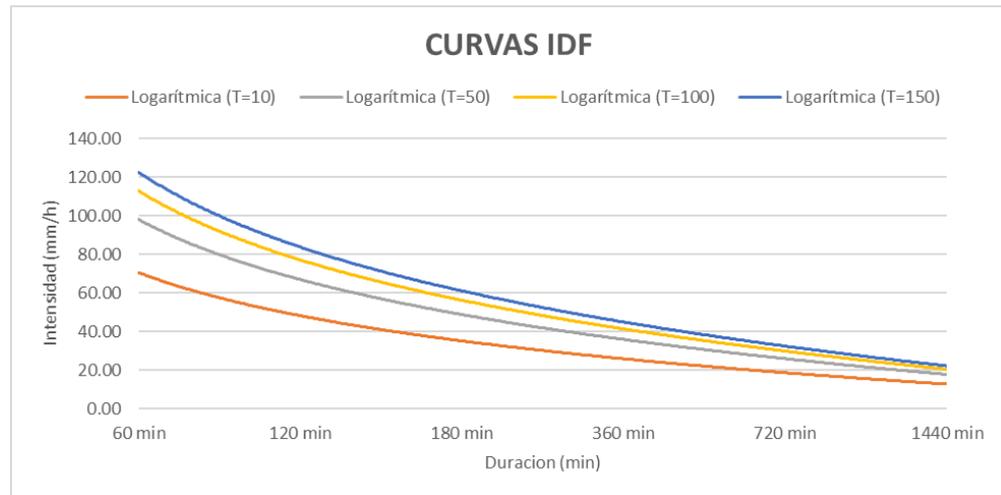
<b>T</b>	<b>T=10</b>	<b>T=50</b>	<b>T=100</b>	<b>T=150</b>
60 min	69.90	97.07	111.81	121.46
120 min	47.63	66.14	76.19	82.76
180 min	38.05	52.84	60.87	66.12
360 min	25.93	36.01	41.48	45.05
720 min	17.67	24.53	28.26	30.70
1440 min	12.04	16.72	19.26	20.92

**Nota:**

Estos valores de intensidad también fueron determinadas a partir de la metodología de Dyck y Peschke, los cuales se adjuntan en los anexos, pero no se tomas como base principal de la determinación de intensidades, adicionalmente a ello se pueden también determinar las curvas IDF determinados a partir de las intensidades:

**Figura 45**

*Curvas IDF*



#### **4.1.4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO**

Para la determinación del caudal se tomaron en cuenta los valores determinados de intensidades de precipitación, para ello se tomaron en cuenta los siguientes métodos: racional, Mac Math y el método Mac Math con Dyck Peschke, los cuales se muestran a continuación resumidos en la siguiente tabla:

**Tabla 35**

*Caudales determinados para la zona*

<b>CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>T(años)</b>	<b>MET. RACIONAL</b>	<b>MET. MAC MATH</b>	<b>MET. MAC MATH CON DYCK PESCHKE</b>
<b>10</b>	524.792	1111.862	1218.403
<b>50</b>	728.785	1544.055	2418.192
<b>100</b>	839.483	1778.588	3248.720
<b>150</b>	911.860	1931.930	3861.024
<b>250</b>	1012.015	2144.127	4799.512
<b>500</b>	1165.721	2469.779	6447.627
<b>1000</b>	1342.772	2844.891	8661.777

De los valores determinados se tomó como base los caudales que se calcularon con la metodología racional, la cual se tuvo que también multiplicar por un factor de seguridad que se consideró como 1.3 para los fines estructurales que se determinaron en la zona:

**Tabla 36**

*Caudales determinados para la zona*

CAUDALES DE DISEÑO CON FACTOR DE MAYORACIÓN	
T(años)	MET. RACIONAL
10	682.230
50	947.421
100	1091.328
150	1185.418
250	1315.620
500	1515.437
1000	1745.604

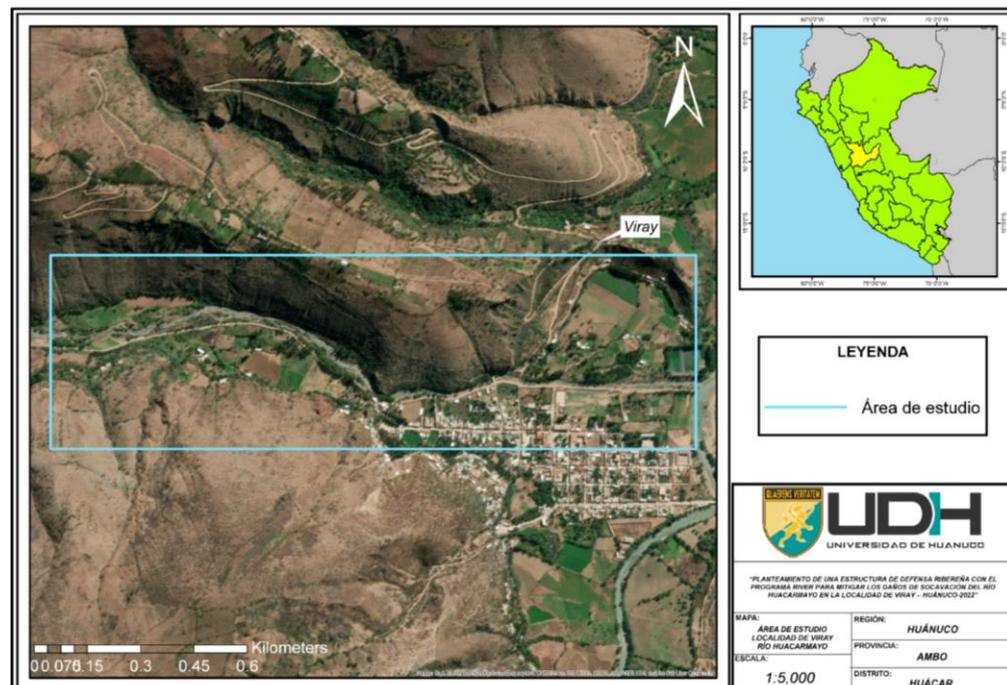
Estos valores son los considerados para la determinación de zonas de inundación que se verán en el siguiente punto.

#### 4.1.5. DETERMINACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN:

Para iniciar con el proceso de determinación de zonas de inundación se tiene que identificar la topografía de la zona la cual pues viene a ser tomada a partir de imágenes satelitales y reconocimientos en campo los cuales se presentan a continuación:

**Figura 46**

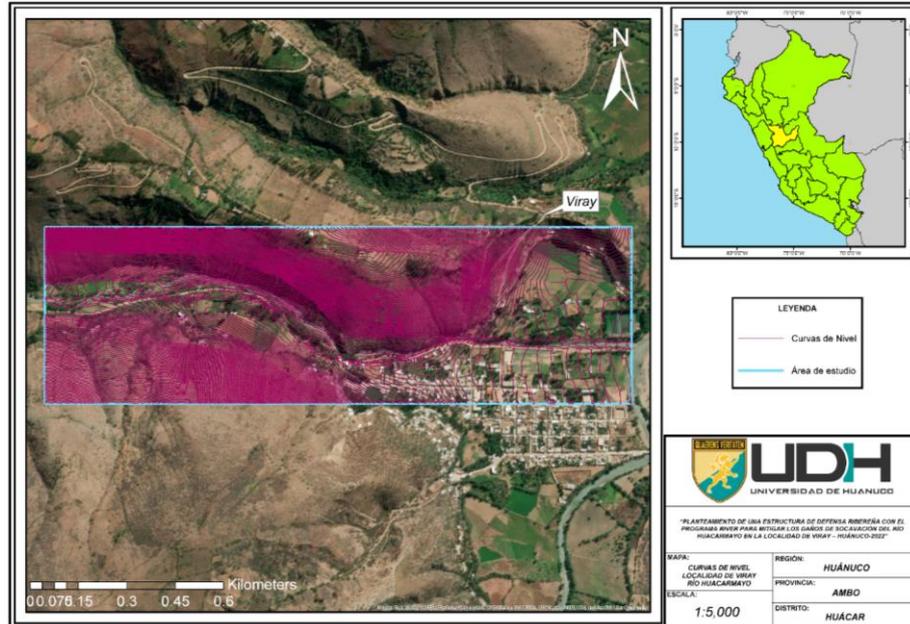
*Mapa de área de estudio*



Una vez delimitada la zona se pueden determinar las correspondientes curvas de nivel de la zona las cuales serán de utilidad en el modelado para las inundaciones.

**Figura 47**

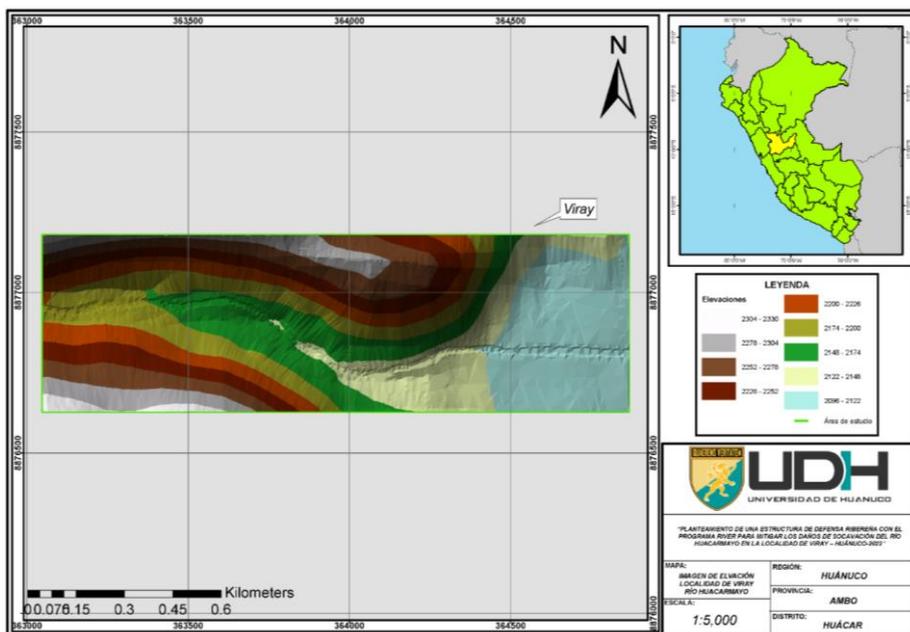
*Mapa de curvas de nivel*



A partir de las curvas de nivel se puede determinar las imágenes de elevación en 3D para poder apreciar las características de la zona:

**Figura 48**

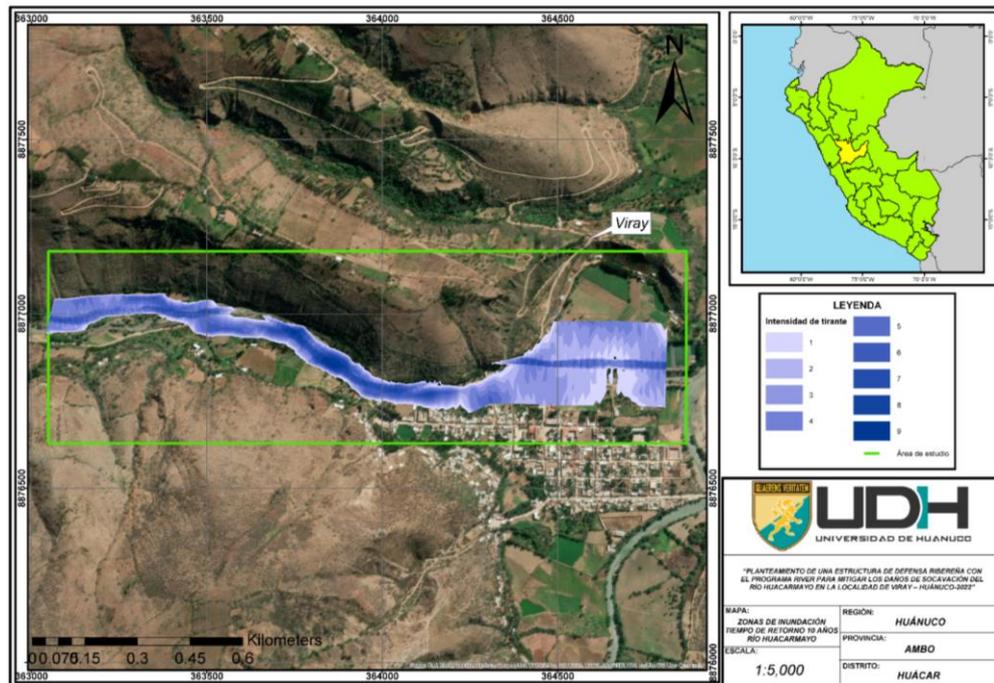
*Mapa de modelo de elevación*



Para la determinación de las zonas propensas a inundaciones se tomó la metodología que plantea el HEC-RAS en 2D con lo cual se pudo determinar para los diversos caudales de la Tabla 29 los siguientes mapas de inundación:

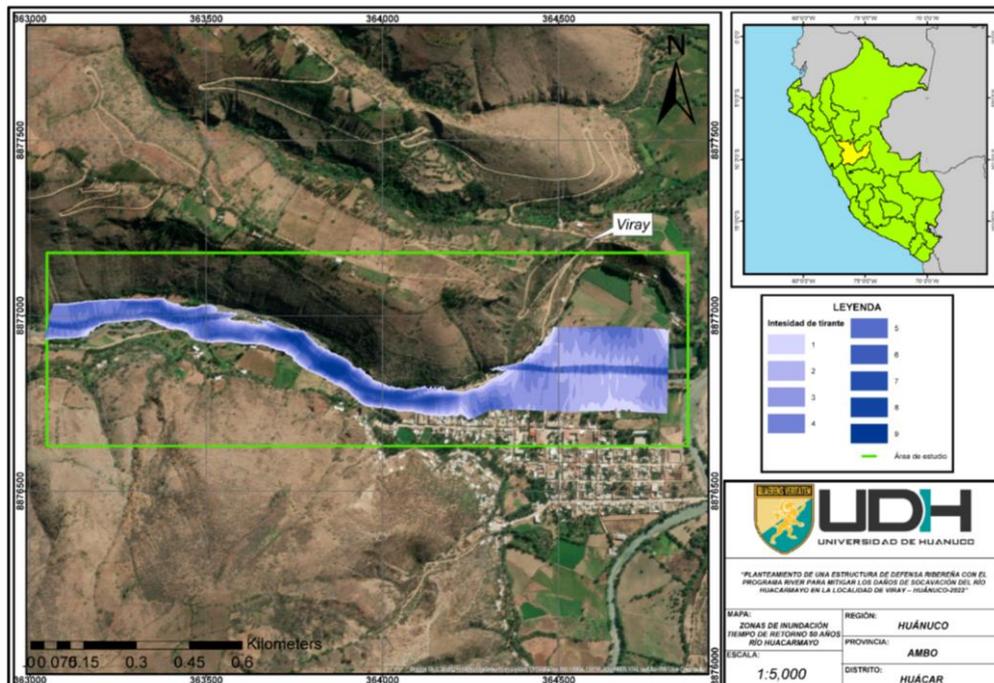
**Figura 49**

*Mapa de inundación TR=10 años*



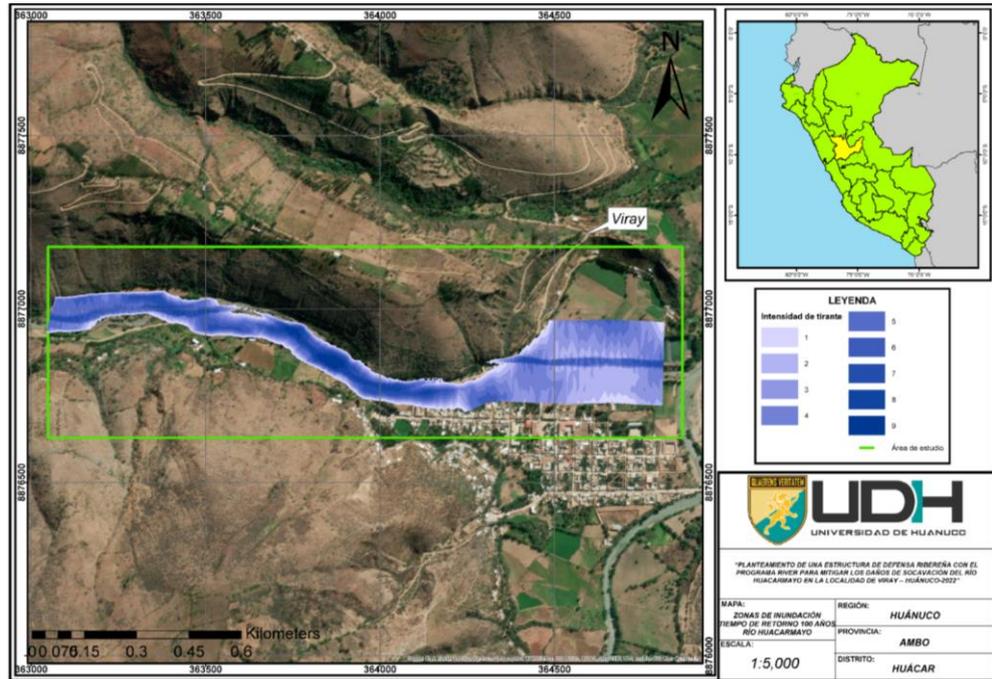
**Figura 50**

*Mapa de inundación TR=50 años*



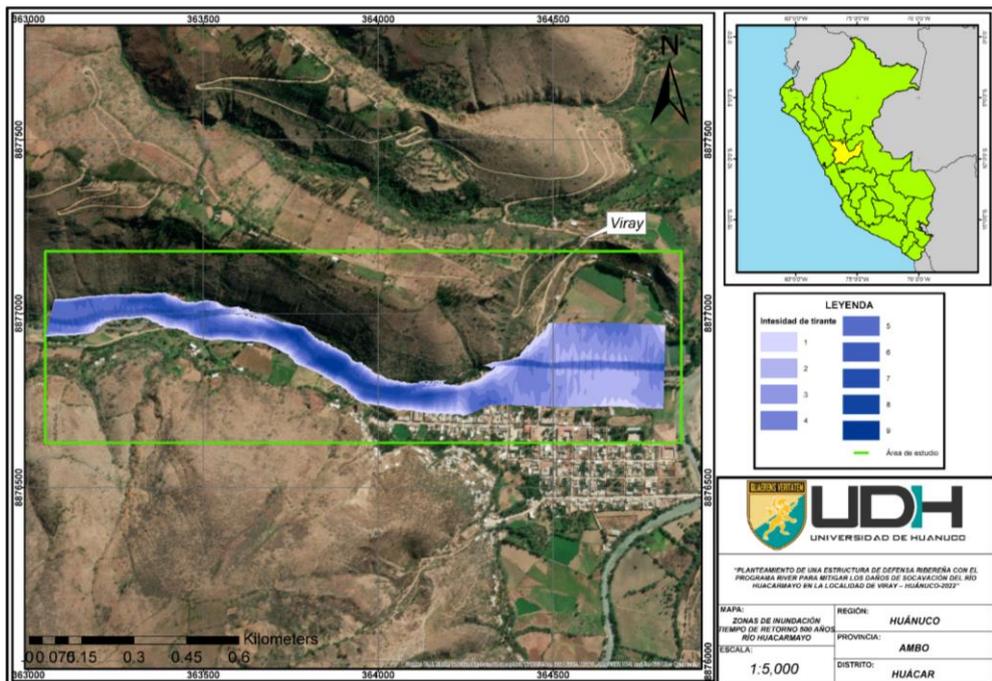
**Figura 51**

*Mapa de inundación TR=100 años*



**Figura 52**

*Mapa de inundación TR=500 años*



De la serie de mapas que se presentan se pudo observar que la presente zona de investigación cuenta con zonas de alto riesgo frente a inundaciones en su parte habitada y parte de ella dedicada a la agricultura, esto debido a que esa zona es una planicie y no presenta

una barrera contra algún tipo de desborde del río Huacarmayo, esto pues hace que se haga necesario la edificación de un muro que actúe como defensa ribereña en la zona urbana casi al final del río Huacarmayo.

#### 4.1.6. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE DEFENSAS RIBEREÑAS DE TIPO ENROCADO

A partir de los valores determinados en la hidrología y las características del suelo de la zona se puede plantear a partir de la metodología que aplica el software River los siguientes resultados:

Figura 53

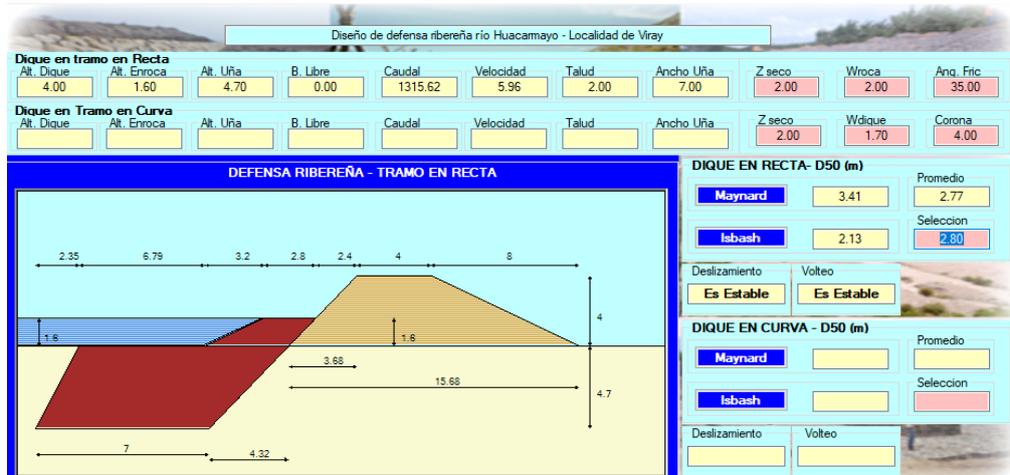
*Prediseño de la defensa ribereña en el software River*



Diseño preliminar o prediseño de defensa ribereña sugerido por el software River, en la cual nos indica las siguientes dimensiones: ancho de corona 4.00 m, altura de dique 4.00 m, altura de enrocado 1.60 m, altura de uña 4.70 m, ancho de uña 7.00 m, altura total 8.70 m.

**Figura 54**

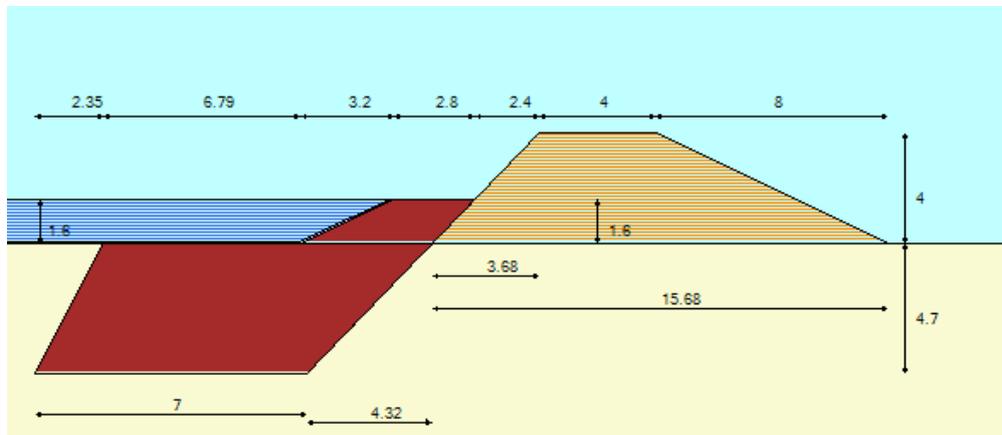
*Diseño final de la defensa ribereña en el software River*



Dimensiones finales del diseño de defensa ribereña con el software River, el cual nos indica una altura de dique de 4.00 m, altura de enrocado de 1.60 m, altura de uña de 4.70 m y un ancho de uña de 7.00 m.

**Figura 55**

*Perfil de la defensa ribereña en el software River*



Perfil de la defensa ribereña según el software River con las dimensiones finales de las alturas de dique, enrocado, uña y ancho de uña mencionadas en la Figura 54.

## **4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS**

H<sub>1</sub>: A partir de la aplicación del software River y su metodología se logrará diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación causados por un caudal crítico estimado en el río Huacarmayo.

Como se puede evidenciar en la Figura 53: Prediseño de la defensa ribereña en el software River y Figura 54: Diseño final de la defensa ribereña en el software River; se pudo demostrar que a partir de un modelo hidrológico que tiene como fin determinar los caudales evidenciados en la Tabla 35 y con un modelo hidráulico de la zona del río Huacarmayo mostrado en las Figuras 49, 50, 51 y 52 presentado de tal manera en la cual se lograron establecer las zonas con una alta vulnerabilidad frente a inundaciones, se pudo establecer las dimensiones adecuadas para la estructura de encausamiento o defensa ribereña con la cual se mitiguen los efectos dañinos de inundación y los efectos que puedan tener las acciones de socavación identificados en las velocidades de flujo y el valor de caudal del cauce del río Huacarmayo. La elaboración de un modelo estructural adecuado para el predimensionamiento, aplicado directamente en el software River cumplió con los requerimientos estructurales logrando así establecer las medidas adecuadas de mitigación frente a los efectos de socavación ocasionados en la zona de interés.

Dado esto pues se demuestra que la hipótesis es afirmativa cumpliendo su veracidad y posibilidad de elaboración.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Inicialmente el proceso se centró en la realización de una caracterización en la subcuenca que se encuentra dentro de la zona de la cuenca del Alto Hualla y que adicionalmente dentro de ella se encuentre el ámbito de interés de la investigación. Según (ANA, 2015) la zona del río Huacarmayo se encuentra en la Subcuenca del Alto Huallaga b/Qda. Tranca, la cual que pues a partir de un proceso hidrológico nos dio como resultado la Figura 34, de la cual se pudo determinar el área de la zona y las características físicas de la zona como se presenta en la Tabla 24 y Tabla 25.

Según ANA (2015), establece que la sub cuenca del Alto Huallaga b/Qda. Tranca posee un área de 697 km<sup>2</sup> dicho valor difiere del presentado en la Tabla 24 la cual establece un valor de 689.58 km<sup>2</sup> esto pues se debe a que el punto de aforo tomado en la presente investigación fue a la altura del inicio de la localidad de Viray, y en el caso del informe de la Autoridad Nacional del Agua se estableció como punto de aforo la intersección con el río Huallaga evidenciando así la variación en relación al área de la sub cuenca. Esta información fue punto de partida para la determinación de las isoyetas para la subcuenca la cual se presenta en la Figura 35, la cual se determinó a partir de las lecturas de las estaciones presentadas en la Tabla 19, las cuales sirvieron de base para la determinación e identificación de las características presentes en la zona de interés. Posterior a ello se realizó la caracterización de la cuenca que genera el río Huacarmayo la cual nos dio como resultado la Figura 36 de la cual se pudieron identificar las redes hídricas que se presentan dentro de ella pues se tiene en cuenta a la presencia del río Huacarmayo como principal cuerpo de agua, las características se presentaron en las Tablas 20-21, ya que estas servirán para la identificación del comportamiento hidrológico en la zona, a la par se realizó la identificación de las coberturas vegetales que se presentan en dicha zona Figura 38, esto con la finalidad de determinar los valores para las constantes Racionales y de Mac Math que se presentan en la Tabla 22. Posterior a ello pues se presenta el análisis de precipitaciones en

la cual se tomaron como principal origen de datos pues las estaciones de la Tabla 19 las cuales fueron sometidas a procesos estadísticos los cuales dieron como resultados las intensidades de precipitación presentados en la Tabla 34 y se hacen las gráficas IDF que se presentan en la Figura 45.

Según Asencios et al. (2021), para su investigación se logró determinar que para el río Rimac se pudo calcular un valor de caudal de 388.805 m<sup>3</sup>/s estimado a partir de la metodología de Pearson III, dicho valor se calculó directamente de las lecturas de caudal que se proporcionan en el cauce del río Rimac, para el caso del río Huacarmayo el proceso se llevó de manera distinta ya que en el cauce del río no hay lecturas de caudal solo se cuentan con estaciones pluviométricas de las cuales se estimaron que los valores de precipitación presentados en la Tabla 33, identificando así de la misma forma que es estadístico adecuado para la lectura es la del Log-Normal con 3P, con ello se logró determinar las intensidades presentadas en la Tabla 34. A partir de las intensidad de precipitación se calculan los caudales para diferentes periodos de retorno dentro de ellas los valores que se puedan ajustar mejor al río Huacarmayo que se presentan en la Tabla 28. Determinados los caudales de diseño se procedió a procesar el modelo de simulación para las inundaciones, para la presente investigación se tomó en cuenta el software HEC-RAS del cual se lograron obtener los mapas de inundación para los diferentes periodos de retorno Figuras 49-52. Finalmente, a partir de la identificación de las zonas de desborde se procede a plantear estructuras de defensa ribereña que se procesan en el software River.

Para Asencios (2021), pudo estimar que para el contexto del río Rimac las dimensiones de altura de 5.80m, para la altura de la uña se estimo un valor 1.60m y con un ancho de enrocado de 1.20m, a diferencia de los resultados presentados en la Figura 54, difiriendo principalmente en la altura ya que el caudal de río Rimac es muy superior al de los valores de caudal estimados para el río Huacarmayo.

## CONCLUSIONES

Los valores estimados para el dimensionamiento de estructuras de defensa ribereña en el software River se parametrizan a partir de características hidrológicas, hidráulicas y de suelo que se presente en el cauce del río Huacarmayo, estos valores deben ser calculados con mayor precisión para que el dimensionamiento no sea excesivo y no presente errores en el modelo.

La cuenca que forma el río Huacarmayo tiene un área de aproximadamente 97 km<sup>2</sup>, con un factor de forma de 0.53, con una densidad de drenaje de 0.41 y un índice de pendiente de 0.56. Se pudo concluir que las zonas de inundación son en gran parte la parte plana de la zona de Viray donde coincidentemente se asienta la población presentando un constante riesgo para la zona, en dicha zona se presenta características de socavación identificando así las fallencias estructurales.

Se pudo determinar que los valores de caudales para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250 y 500 años son de aproximadamente de 682, 947, 1091, 1315 y 1515 m<sup>3</sup>/s esto a partir del método racional y con un valor de seguridad de 1.3.

Para las características de la defensa ribereña, esta se pudo dimensionar como sigue: una altura de dique de 4m, la altura del enrocado de 1.6m, la longitud de la uña de 4.7m, un talud de 2m y un ancho de uña de 7m.

## RECOMENDACIONES

En el caso se requiera trabajar con zonas pequeñas en comparación a las sub cuencas que se formen, es recomendable trabajar con imágenes DEM proporcionadas a partir de las Cartas cartográficas que brinda el estado ya que en ellas se delimitan mejor algunas zonas ya que están hechas a nivel nacional en comparación a otros servidores internacionales.

Identificar las características de la cuenca que se quiere estudiar es muy relevante en cualquier tipo de investigación, así mismo a partir de esa caracterización se puede interpolar información para las zonas que no tengan una estación propia como es el caso de esta presente investigación.

Para la determinación de los caudales críticos estos se pueden hallar de diversas formas y métodos ya depende del investigador tomar el valor más conveniente debido a las características hidráulicas que presentan sus obras ya que esto puede generar un sobre costo innecesario al momento de edificar la obra de encausamiento.

Al igual que en cualquier proceso de diseño estructural de cualquier ámbito se requieren conocimientos del entorno en el cual se está trabajando debido a que con esta información se plantearan estructuras más optimas y con un mayor tiempo de vida del que se espera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliados ante inundaciones. (2017). *Gestión de inundaciones en Perú. Soluciones Prácticas.*
- ANA. (2015). *Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Huallaga.* ANA.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie.* LIMUSA.
- Arcos Maldonado, N., Vázquez Jiménez, F., Dionicio Apreza, J., & Corona Cerecero, E. (2018). Obras de protección contra inundaciones. *Innova Ingeniería*, 44-51.
- Asencios, Y., Huaroc, F., Jauregui, J.LA , & Miranda, G. (2021). *Propuesta de defensa ribereña utilizando el programa River para reducir los daños de socavación e inundación en el tramo puente Los Ángeles del Río Rímac.* Universidad San Ignacio de Loyola.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Plan nacional de recursos hídricos del Perú.* Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). *Política y estrategia Nacional de los Recursos Hídricos.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas.* ANA.
- Ávila Mondragón, R., Mora Ortiz, R., Magaña Hernández, F., & Díaz Alvarado, S. (2019). Análisis del efecto del humedecimiento en la estabilidad de un bordo del río Grijalva, en el estado de Tabasco. *Innovación más Desarrollo*, 64-76.
- Buitrago, C. (2013). *Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces.* Universidad Católica de Colombia.
- Cañibano, A. (2018). *El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca.* Eco Matemático.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales.* CENEPRED.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil.* CONCYTEC.
- Chow, V. T. (1995). *Hidráulica de canales abiertos.* MCGRAW-HILL.

- Chow, V., Maidment, D. R., & W., M. L. (1994). *Hidraulica Aplicada*. Colombia: Mc GRAW HILL.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2022). *CONAMP*.  
Obtenido de CONAMP:  
[/www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/programa\\_manejo.php](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/programa_manejo.php)
- Estupiñán, J. (2020). *Encauzamiento de ríos procedimientos de cálculo y su análisis*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL.
- Ibáñez, S. (2012). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2020). *Glosario de términos y siglas utilizadas*. INDECI.
- La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. (2020). *Informe mundial sobre desastres 2020*. IFRC.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (16 de 02 de 2020). *Hidrología en el Perú*. Obtenido de Midagri: <https://www.midagri.gob.pe/portal/51-sector-agrario/hidrometeorologia/361-hidrologia#:~:text=Hidrolog%C3%ADa&text=El%20principal%20indicador%20de%20la,del%20volumen%20de%20escorrent%C3%ADa%20mundial>.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Alfaomega.
- MTC. (2018). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. MTC.
- Organización Meteorológica Mundial. (2017). *El Niño/Oscilación del Sur*. OMM.
- Paceli, A. (2010). *Processamento e Análise de Pluviogramas*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- Pérez, L. (2022). *Evaluación del diseño hidráulico y estructural de las defensas ribereñas en la margen izquierda del puente comuneros*. Universidad Continental.
- Pérez, M. (2020). *Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección ante inundaciones provocadas por el río Motagua en el caserío Buena Vista, Municipio de Morales, Izabal*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sánchez, J. (2012). *Hidrología*. Universidad de Salamanca.

- Sarabia, N. (2018). *Aplicación del software river para el diseño de defensas ribereñas desde el Km 40+800 al 44+100, río Reque*. Universidad Cesar Vallejo.
- SENAMHI. (2021). *Estudio de modelamiento hidrológico a paso diario a nivel nacional para el monitoreo de potenciales inundaciones*. MINAM.
- Ticona, R. (2018). *Estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu del distrito de Patambuco, provincia de Sandía - Puno*. UANCV.
- Toapaxi, J. (2015). *Análisis de la Socavación en Cauces Naturales*. Escuela Politécnica Nacional.
- Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Geomecánica*. Universidad Nacional de Colombia.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. MaxSoft.
- Villón, M. (2008). *Hidrología estadística*. Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Yugar, W. (2009). *Material de apoyo para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Universidad Mayor de San Simón.

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION**

Castillo Parra, A. (2023). *Planteamiento de una estructura de defensa ribereña con el programa River para mitigar los daños de socavación del río Huacarmayo en la localidad de Viray – Huánuco-2022* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Tabla 37**

*Matriz de Consistencia*

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Técnica</b>
¿De qué manera la aplicación del software River y su metodología logran diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación en el cauce del río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco?	Estimar en qué medida la aplicación del software River y su metodología logran diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación en el cauce del río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco.	A partir de la aplicación del software River y su metodología se logrará diseñar una defensa ribereña que mitigue los efectos de socavación causados por un	Se realizarán levantamiento de datos geográficos y valores hidrológicos que permitan caracterizar las precipitaciones, avenidas y cuáles son sus efectos para la investigación en la localidad de Viray - Distrito de Huácar - Provincia de Ambo - Región Huánuco.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	caudal crítico estimado en el río Huacarmayo.	<b>Instrumentos</b>
¿Cómo afectan los valores hidrológicos en la socavación generado por el río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco?	Identificar como afectan los valores hidrológicos en la socavación generado por el río Huacarmayo en la localidad de Viray, Huánuco.		Registros históricos para la zona.
¿De qué manera se calculan los valores de caudal máximo para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200, 500 años para el planteamiento de una defensa ribereña?	Calcular los valores de caudal máximo para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 250, 500 años para el planteamiento de una defensa ribereña.		Formatos para la realización de recopilación de datos de suelo para su posterior interpretación y análisis.
¿Cuál es el diseño más adecuado de la defensa ribereña que soporte las avenidas máximas en el río Huacarmayo?	Proponer el diseño más adecuado de la defensa ribereña que soporte las avenidas máximas en el río Huacarmayo.		Hojas Excel para la determinación de caudales y

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES	caracterización de los
<p>Tipo de Investigación: Cuantitativa.</p> <p>Alcance de Investigación: Explicativo.</p> <p>Diseño: No Experimental.</p>	<p><b>Población:</b> Para la investigación se plantea que la población es el cauce del río Huacarmayo.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra que se toma para la investigación es el tramo del río Huacarmayo que se encuentra en la localidad de Viray.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Socavación.</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Defensa ribereña.</p>	<p>parámetros.</p> <p>Hojas de registro en resultados obtenidos.</p>

## **ANEXO 02: VALORES HIDROLOGICOS**

**Tabla 38***Alturas de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*

Min	Max	Promedio	Áreas (Km <sup>2</sup> )	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
2082	2400	2241	27.86	27.86	662.80	4.03	95.97
2400	2700	2550	51.41	79.27	611.40	7.44	88.52
2700	3000	2850	85.22	164.49	526.18	12.34	76.18
3000	3300	3150	99.94	264.43	426.23	14.47	61.71
3300	3600	3450	97.63	362.07	229.86	14.14	47.58
3600	3900	3750	98.74	460.80	229.86	14.30	33.28
3900	4200	4050	154.85	615.65	75.02	22.42	10.86
4200	4500	4350	69.72	685.37	5.30	10.09	0.77
4500	4832	4666	5.30	690.67	0.00	0.77	0.00
			690.66646			100	

**Tabla 39***Hidrología de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*

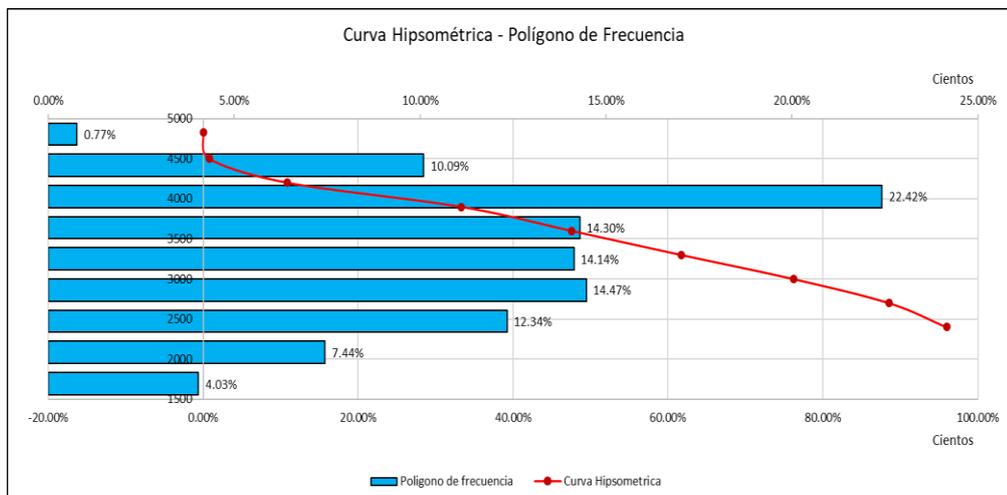
<b>Hidrografía de la cuenca</b>					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A * B
1	109	162.75	16048	25.713965	412657.71
2	21	101.43	10068	21.228563	213729.17
3	5	42.21	4163	17.581381	73191.289
4	2	35.75	3461	8.128663	28133.303
5	1	5.84	554	3.036663	1682.3113
Longitud Total		347.98	34294		729393.79
<b>Pendiente promedio</b>					21.26884544

**Tabla 40***Pendiente de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca*

<b>PENDIENTE DE LA CUENCA</b>				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	2905432	14527160
10	20	15	1438112	21571680
20	30	25	68424	1710600
30	40	35	6812	238420
40	50	45	1209	54405
50	60	55	257	14135
60	70	65	54	3510
70	80	75	17	1275
80	90	85	2	170
90	100	95	5	475
Total			4420324	38121830
Pendiente promedio de la Cuenca				8.624216234

**Figura 56**

Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de la Subcuenca Alto Huallaga b/Qda. Tranca



**Tabla 41**

Alturas de la cuenca del río Huacarmayo

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
2149.247	2500	2324.6235	3.64	3.64	95.16	3.68	96.32
2500	2750	2625	6.12	9.76	89.03	6.20	90.12
2750	3000	2875	10.66	20.42	78.38	10.79	79.33
3000	3250	3125	12.00	32.41	66.38	12.14	67.19
3250	3500	3375	11.72	44.13	42.71	11.86	55.33
3500	3750	3625	11.96	56.09	42.71	12.10	43.23
3750	4000	3875	20.98	77.06	21.73	21.23	22.00
4000	4250	4125	18.02	95.09	3.71	18.24	3.75
4250	4507.039	4378.5195	3.71	98.80	0.00	3.75	0.00
			98.795266			100	

**Tabla 42**

Hidrología de la cuenca del río Huacarmayo

Hidrografía de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A * B
1	12	22.07	522	25.164932	13136.095
2	3	5.67	125	21.108283	2638.5354
3	1	12.49	266	17.800413	4734.9099
Longitud Total		40.23	913		20509.54
Pendiente promedio				22.46389895	

**Tabla 43**

*Pendiente de la cuenca del río Huacarmayo*

PENDIENTE DE LA CUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	1846	9230
10	20	15	4387	65805
20	30	25	7133	178325
30	40	35	9968	348880
40	50	45	8330	374850
50	60	55	4584	252120
60	70	65	2132	138580
70	80	75	838	62850
80	90	85	275	23375
90	100	95	41	3895
Total			39534	1457910
Pendiente promedio de la Cuenca			36.87737138	

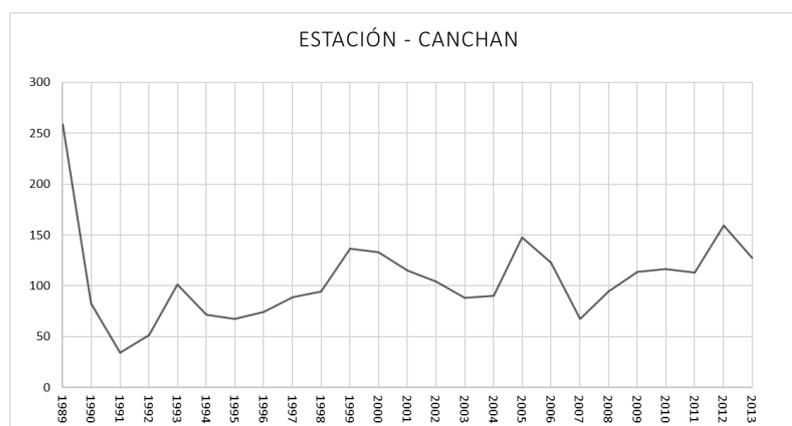
**Tabla 44**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación Canchan*

ESTACIÓN - CANCHAN															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	79.4	61.5	82.59	22.1	10.6	8.3	9.6	0	15.89	46.7	23.39	258.6	618.67	258.6	51.555833
1990	64.9	23.39	13.5	35.4	34.5	19.79	0.2	2.7	10.1	76.5	82.59	50.7	414.27	82.59	34.5225
1991	15.3	28.5	0	18.89	5	14.8	0	0	19.7	34.4	32.59	33.4	202.58	34.4	16.881667
1992	19.7	33.09	49.9	15.5	3	8.39	1	33.9	7	27.1	32.5	51.4	282.48	51.4	23.54
1993	24.89	56.2	101.3	42.5	39.79	5.19	1	2.09	33.29	46.59	90.59	86.8	530.23	101.3	44.185833
1994	71.4	67.3	52.59	50.29	16.7	1.29	1.2	0	22.1	47.9	26.79	65	422.56	71.4	35.213333
1995	58.59	60.79	67.4	24.79	8	2.79	0	0	14.89	16.1	21	47.4	321.75	67.4	26.8125
1996	51.09	31	42.5	74.09	13.8	0	1.6	1.5	7.3	18.39	50.7	27.2	319.17	74.09	26.5975
1997	88.69	50.09	30.1	17.1	12.3	10.5	0	15.8	8.89	29.2	27.7	55.59	345.96	88.69	28.83
1998	94.69	67.19	63.59	10.69	3.29	1.2	0	0.5	11.1	16.29	64.5	50.9	383.94	94.69	31.995
1999	83	94.19	136.3	20.89	8.5	4.4	5.19	1.5	23.6	16.5	44.9	75.69	514.66	136.3	42.888333
2000	79.3	81.69	132.89	14.19	4.59	17.6	9	22.1	12.39	26.39	31	83.59	514.73	132.89	42.894167
2001	115.4	43.5	94.8	38.2	11.39	3	14.19	5.09	12.69	52.79	87.59	70.4	549.04	115.4	45.753333
2002	18.7	58.4	103.8	46.5	20.7	1.7	25.29	7.3	12.1	65.3	35.29	39.2	434.28	103.8	36.19
2003	50.09	42.4	86.19	31.7	13	0	0	9.69	20.6	43.79	62.59	88.19	448.24	88.19	37.353333
2004	29.6	60.7	89.9	18.2	31.7	11.39	8.6	17.79	19.7	51.7	22.1	87.69	449.07	89.9	37.4225
2005	77.59	69.9	105	14.6	1	0	6.59	20.39	11	47.29	28.79	147.8	529.95	147.8	44.1625
2006	122.5	57.9	99.59	33.79	5.69	10.3	1	1.39	17	85.69	69.09	88.9	592.84	122.5	49.403333
2007	45	4.4	64	22.6	20.1	0	4.59	3	5.8	67.3	49.4	67.09	353.28	67.3	29.44
2008	74	94.4	78.59	48.2	5.8	1.89	2.09	3.59	32	37.7	43.79	73.69	495.74	94.4	41.311667
2009	114	96.9	93.3	71	6	16.1	12.6	1.6	10.1	41	50.09	95.8	608.49	114	50.7075
2010	26.39	116.59	86.8	29.89	8.1	0	2.4	5.3	20.7	39.09	69.59	65.8	470.65	116.59	39.220833
2011	80.5	65.9	107.4	31.39	25.2	0	2.4	3.5	9.3	88.8	48.09	113.19	575.67	113.19	47.9725
2012	78.8	83.69	27.89	58.9	10.3	3.4	6.3	4.8	4	66.3	84.5	159	587.88	159	48.99
2013	64.19	98.8	127.69	49.59	5.69	27.1	13.39	27.6	4.59	41.7	56	76.69	593.03	127.69	49.419167
PRO M	65.108	61.9364	77.504	33.64	12.99	6.7652	5.1292	7.6452	14.6332	45.2204	49.4064	82.3884	462.366	82.3884	38.530533

**Figura 57**

*Precipitaciones máximas – Estación Canchan*



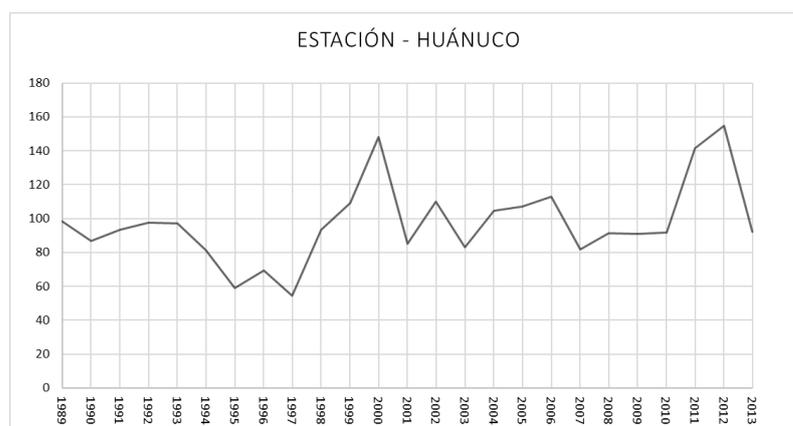
**Tabla 45**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación Huánuco*

ESTACIÓN - HUÁNUCO															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	56.79	43.79	98.19	20.79	14.8	11.5	0	2.5	12	67.9	41.29	59.09	428.64	98.19	35.72
1990	45.79	13.5	34.7	52.2	32.59	15.1	1.5	7.09	10.89	86.8	77	59.2	436.36	86.8	36.3633
1991	25.7	44.29	93.4	29.1	3	10.1	4.8	0	8.5	33.4	40.2	39.59	332.08	93.4	27.6733
1992	43.09	88.69	66.19	20.6	0	14.39	0	37.2	4	97.4	37.4	21.6	430.56	97.4	35.88
1993	18.1	40.9	76.8	25.89	16.79	12.3	6.09	6.3	8	17.2	97.3	50.09	375.76	97.3	31.3133
1994	81.19	57.5	41.29	57.59	23.39	0	0	0	32.7	64.4	20.39	41	419.45	81.19	34.9541
1995	38.7	50.4	50.29	26	3.59	1.39	1.2	0.4	7.19	23.2	48.79	59	310.15	59	25.8458
1996	59.5	33.09	41.7	69.3	23	0	0.1	5.3	2.29	23.6	57.79	15.69	331.36	69.3	27.6133
1997	54.59	41.59	26.5	15.1	9.6	2.2	0	9.6	7.59	29.79	41.5	47.29	285.35	54.59	23.7791
1998	93.5	63	66.9	3.09	2.79	2.09	0	2.79	3.79	29.29	64.5	34	365.74	93.5	30.4783
1999	81.69	88.5	109.3	22.29	18.39	15.1	8.6	0.6	57.59	20.79	33.79	58.2	514.84	109.3	42.9033
2000	68.19	89.59	148.1	30.29	10.1	16	3.59	17.1	11.89	9.5	61	77.19	542.54	148.1	45.2116
2001	45.2	36.2	85.19	46.2	10.39	3.29	8.39	10.19	7.4	36.9	72.69	55.79	417.83	85.19	34.8191
2002	29.5	56.4	83.09	56.5	18.2	2.9	12.8	4.09	8.39	109.8	40.79	21	443.46	109.8	36.955
2003	44.7	26.89	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.39	12.6	17.1	77.3	83.09	380.87	83.09	31.7391
2004	33.59	31.7	56.9	31.2	24.79	5.09	5.59	16.7	16.2	28.6	34.79	104.59	389.74	104.59	32.4783
2005	32.59	45	92.69	12.6	1.39	0	2	8.6	5.8	51.5	26.29	106.9	385.36	106.9	32.1133
2006	81.9	48.4	112.69	38.59	2	6.19	3.5	2.9	11.39	49.09	66.69	89.09	512.43	112.69	42.7025
2007	33.9	6.9	81.59	35.79	7.8	1.89	6.69	3.9	4.4	59.2	40.59	70.3	352.95	81.59	29.4125
2008	29.79	90.8	91.3	36.29	3.59	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.09	449.76	91.3	37.48
2009	68	72.5	90.8	85.9	14.19	10.3	12.3	4.4	11	44.59	40.2	59.59	513.77	90.8	42.8141
2010	21.79	85.9	91.59	19	3.4	2.59	4.9	7.19	14.1	26.7	55.09	81.9	414.15	91.59	34.5125
2011	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.89	1.89	3.7	22.6	67.69	56.59	132.3	634.06	141.6	52.8383
2012	78.59	55.7	30.1	74.8	13.69	3.79	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.69	596.96	154.69	49.7466
2013	36.2	90	92	33.59	5.69	10.69	12.5	22.1	6.59	37.79	71.3	76.09	494.54	92	41.2116
<b>PRO M</b>	<b>51.175</b>	<b>54.6092</b>	<b>78.936</b>	<b>36.448</b>	<b>11.943</b>	<b>6.1836</b>	<b>4.1776</b>	<b>7.4976</b>	<b>13.008</b>	<b>45.8092</b>	<b>53.9468</b>	<b>66.6144</b>	<b>430.348</b>	<b>78.936</b>	<b>35.862367</b>

**Figura 58**

*Precipitaciones máximas – Estación Huánuco*



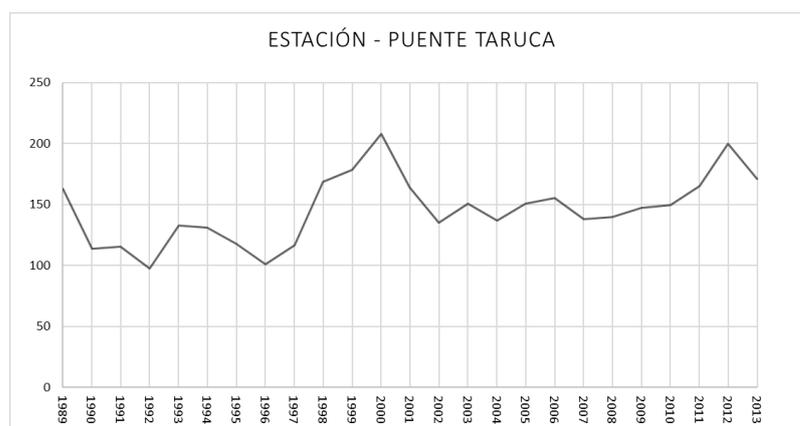
**Tabla 46**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación Puente Taruca*

ESTACIÓN - PUENTE TARUCA															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	98.62	87.68	106.47	56.32	26.14	26.2	8.71	11.85	38.5	104.46	60.1	163	788.05	163	65.670833
1990	81.88	47.96	50.99	58.38	41.45	48.99	3.76	10.08	38.11	95.85	113.75	94.54	685.74	113.75	57.145
1991	52.91	103.01	115.67	51.78	10.76	19.45	5.2	2.98	30.71	63.21	49.54	84.23	589.45	115.67	49.120833
1992	45.26	96.21	79.55	30.65	16.95	36.29	4.15	52.72	30.77	97.59	55.61	96.44	642.19	97.59	53.515833
1993	36.55	78.44	132.99	70.97	55.48	19.38	7.95	4.83	24.91	46.32	128.22	121.84	727.88	132.99	60.656667
1994	130.96	124.95	75.32	59.66	18.64	4.43	4.01	0.79	25.74	93.62	55.31	91.31	684.74	130.96	57.061667
1995	112.77	103.57	117.82	55.92	24.53	6.65	2.79	2.74	24.04	49.41	72.53	95.82	668.59	117.82	55.715833
1996	92.67	87.78	84.17	101.31	32.63	6.04	6.93	11.7	24.44	50.9	83.42	53.06	635.05	101.31	52.920833
1997	103.09	107.64	60.38	31.8	23.55	12.72	3.22	30.59	30.2	53.54	62.45	116.61	635.79	116.61	52.9825
1998	168.6	140.33	112.79	32.39	10.19	11.23	2.12	5.78	15.66	50.19	96.71	82.64	728.63	168.6	60.719167
1999	126.14	135.85	178.47	72.43	24.34	16.14	9.98	7.92	43.77	50.39	66.29	97.39	829.11	178.47	69.0925
2000	109.72	125.25	207.76	47.68	14.98	24.31	24.83	41.84	26.99	45.96	63.15	122.34	854.81	207.76	71.234167
2001	164.19	103.72	135.91	65.36	28.15	9.54	21.39	19.75	24.9	77.45	105.15	108.69	864.2	164.19	72.016667
2002	37.43	107.78	135.22	73.06	32.13	7.39	54.33	12.65	29.38	93.13	89.36	88.26	760.12	135.22	63.343333
2003	90.08	72.14	136.97	59.17	31.85	7.89	2.76	23.67	31.59	44.26	96.17	150.94	747.49	150.94	62.290833
2004	42.75	95.26	112.94	24.98	50.69	21.08	16.65	37.68	43.41	93.47	53.95	136.79	729.65	136.79	60.804167
2005	87.81	107.25	138.87	36.06	4.61	1.02	10.01	27.16	16.45	92.96	52.81	151.04	726.05	151.04	60.504167
2006	155.63	104.97	138.55	63.38	11.03	17.74	5.38	8.73	27.74	104.6	103.91	129.05	870.71	155.63	72.559167
2007	93.69	25.06	138.22	61.42	34.69	2.74	13.45	7.61	15.49	99.76	72.4	89.48	654.01	138.22	54.500833
2008	107.97	139.62	112.04	83.08	18.32	10.32	4.72	10.08	55.16	60.16	66.9	115.48	783.85	139.62	65.320833
2009	147.45	144.19	137.37	107.47	20.62	21.59	30.02	14.59	25.63	65.97	88.87	137.23	941	147.45	78.416667
2010	52.1	149.59	139.19	49.75	15.76	5.19	14.26	9.44	34.07	65.57	99.05	103.3	737.27	149.59	61.439167
2011	125.52	112.69	165.16	73.61	40.24	8.48	15.47	7.78	28.11	105	76.96	151.38	910.4	165.16	75.866667
2012	131.5	137.27	72.44	119.06	23.57	13.27	17.23	9.17	16.3	100.61	122.64	199.81	962.87	199.81	80.239167
2013	108.67	144.25	171	67.72	19.45	31.12	38.13	34.95	13.79	78.86	87.52	118.31	913.77	171	76.1475
PRO M	100.16	107.2984	122.25	62.136	25.23	15.568	13.098	16.2832	28.6344	75.3296	80.9108	115.9592	762.857	122.25	63.5714

**Figura 59**

*Precipitaciones máximas – Estación Puente Taruca*



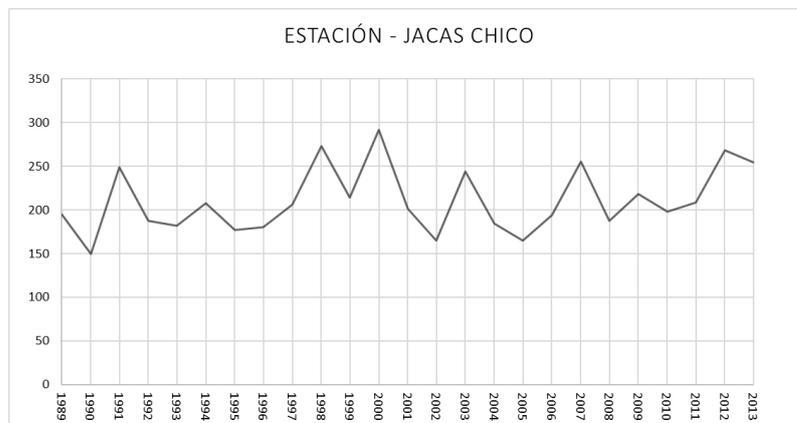
**Tabla 47**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación Jacas Chico*

ESTACIÓN - JACAS CHICO															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	118	113.59	94.5	106.8	44.7	30.39	0	31	67.69	194.8	70.69	49.79	921.95	194.8	76.829167
1990	100	17.1	72.4	50.7	43	94.4	4.8	13.89	98.3	106.5	147	149.8	897.89	149.8	74.824167
1991	103.3	234.19	248.89	89.09	17.7	9	1.5	5.8	53.4	96	44.09	153.39	1056.35	248.89	88.029167
1992	73.9	145.3	93.5	32.59	45.7	92.9	4.09	91.19	79.69	187.19	87.19	179.19	1112.43	187.19	92.7025
1993	45.09	112.19	181.6	89.59	77.3	27	0	2.9	20.29	32.59	152.5	139.1	880.15	181.6	73.345833
1994	194.69	207.69	109	21.1	4.09	3.2	1.29	0	11.69	148.6	72.69	111.09	885.13	207.69	73.760833
1995	162.8	143.6	177	73.3	52	8.6	0	0	28.1	87.19	117.5	156.6	1006.69	177	83.890833
1996	149.5	180.5	137.89	124.09	58.2	6.9	9.8	23.1	43	92.19	128.5	86.19	1039.86	180.5	86.655
1997	126.4	182.3	86.59	59.2	20.7	15.1	2.5	49.5	57	87.69	100.4	206.19	993.57	206.19	82.7975
1998	273.29	211.5	176.69	55.4	19.7	22.39	2.5	9.6	23.39	98.59	110	127.9	1130.95	273.29	94.245833
1999	175.3	213.8	210.6	148.39	38.9	18.7	3.09	14	60.09	67.09	92.5	132.39	1174.85	213.8	97.904167
2000	127.4	149	291.7	89.4	27.5	17.7	32.59	62.2	33.29	73.8	83.19	144.5	1132.27	291.7	94.355833
2001	201.1	198.89	163.39	68	50.2	12.6	31.2	27.1	30.7	84.3	110.5	152.1	1130.08	201.1	94.173333
2002	54.59	163.5	164.89	88.3	37.09	2	51.7	13.39	56.4	126.09	158.8	155.39	1072.14	164.89	89.345
2003	140.3	120.59	220.69	90.59	45	18	3.29	43.59	43	36.5	113.3	243.89	1118.74	243.89	93.228333
2004	35.59	134.1	119.8	28.2	79.19	36.29	22.2	56.9	62.2	134.3	87.8	184.1	980.67	184.1	81.7225
2005	81.4	164.8	160.89	53	5.19	0	10.8	10.39	16.29	132.5	71.09	155.1	861.45	164.8	71.7875
2006	194.1	112.59	178.8	84.3	15	26.29	0	4.69	43.79	131.8	111	166.39	1068.75	194.1	89.0625
2007	175.69	41.4	255.6	98.3	53.7	3	20.6	6.3	26.89	147.39	88.3	96.4	1013.57	255.6	84.464167
2008	161.6	187.3	113.8	149.1	24.6	15.39	4.19	12	95.5	81.69	70.5	172.3	1087.97	187.3	90.664167
2009	198.3	207.6	165.6	124.3	41.29	15.89	48.79	28.29	41.59	81.5	151.6	218.19	1322.94	218.19	110.245
2010	75.8	198.3	191.19	65.59	20	2.9	13.69	1.79	48	107.09	107.5	124.9	956.75	198.3	79.729167
2011	174	188.19	208.69	119.8	47.09	11.6	35.29	4.9	44.7	112.9	105.59	195.3	1248.05	208.69	104.00417
2012	219.5	253.3	123.9	175.6	33.29	25.2	6.69	14.3	15.1	111.3	142.1	268.39	1388.67	268.39	115.7225
2013	166.39	220.89	254.5	112.3	38.9	36.59	71.09	47.7	26.29	145.69	100.09	157.39	1377.82	254.5	114.81833
<b>PRO M</b>	141.12	164.0884	168.088	87.881	37.601	22.081	15.268	22.9808	45.0552	108.2112	104.9768	157.0388	1074.39	168.084	89.5323

**Figura 60**

*Precipitaciones máximas – Estación Jacas Chico*



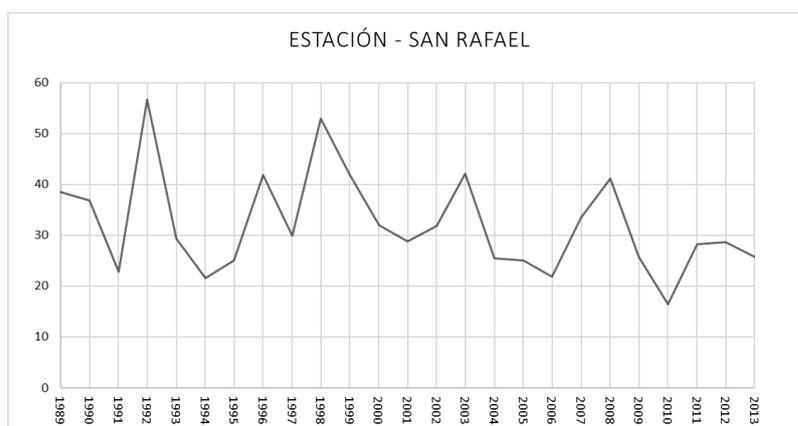
**Tabla 48**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación San Rafael*

ESTACIÓN - SAN RAFAEL															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	23.2	38.5	20.1	12.8	5.4	0.8	0	2.1	11	15.8	9.4	31.2	170.3	38.5	14.191667
1990	25.5	30	36.8	16	18.5	13	1.5	3.5	18	22	26.3	31.7	242.8	36.8	20.233333
1991	18	17.4	22.8	22.2	8	6	0.9	3.7	21.1	3.5	19.5	16	159.1	22.8	13.258333
1992	13	18.6	10.2	12.2	4.5	0	0	7	8.7	22.4	14.3	56.7	167.6	56.7	13.966667
1993	29.4	27.5	22.5	7.2	4.4	7.8	0	5.1	6.2	19.8	19	24.6	173.5	29.4	14.458333
1994	17.3	21	21.6	9	7.9	9.7	2.4	12.8	14.3	6.6	19.2	14.7	156.5	21.6	13.041667
1995	15.9	19.8	20.7	12.8	2.9	14.5	3.5	12.3	12.2	9.4	5.9	25.1	155	25.1	12.916667
1996	24.4	18.8	17.6	16	5.1	5.6	5.3	7.9	9.2	16.2	41.8	26.1	194	41.8	16.166667
1997	10.2	16	20.2	9.6	11.4	2.7	17.6	0.7	7	29.9	12	25	162.3	29.9	13.525
1998	7.5	8.6	15.2	52.9	1.9	7.2	0	22.8	9.4	6.7	27.3	18.6	178.1	52.9	14.841667
1999	29.6	16.3	20.2	10.8	15	8	3	4.3	27.4	22.8	24.1	41.9	223.4	41.9	18.616667
2000	9.9	32	25.9	0	1.3	0	1.9	9.3	10.6	13	16.1	10.1	130.1	32	10.841667
2001	13.9	13.7	12.7	9	0.6	5.3	5.6	5.8	16.3	16.5	28.8	15.7	143.9	28.8	11.991667
2002	22.5	11.1	25.8	6.8	6.8	0.7	31.9	3.5	12	17.1	12	22.6	172.8	31.9	14.4
2003	17	28.2	8.6	6.1	6.3	6.1	1.2	1.8	42.1	15.3	24.5	17.6	174.8	42.1	14.566667
2004	16.1	17.6	25.5	14.7	14.7	3.6	7.1	4.9	9.3	12.7	16.3	22.9	165.4	25.5	13.783333
2005	25.1	19.8	20.9	20.8	17.5	4.4	7.7	5.4	3.9	11.8	9	23	169.3	25.1	14.108333
2006	16.4	18.2	10.4	21.8	14.4	0.8	1.4	4.5	10.3	20.1	12.2	16.1	146.6	21.8	12.216667
2007	13.2	19.5	15.3	24.3	5	6.1	1.7	6.4	1.9	14.8	21.3	33.5	163	33.5	13.583333
2008	15.6	24.8	15.9	12.2	4.7	9.9	0	0	9.1	24.6	27	41.1	184.9	41.1	15.408333
2009	18.5	16.9	25.7	12.4	8.9	2.7	0	3.4	21.3	3.5	9.2	11.2	133.7	25.7	11.141667
2010	13.4	9.7	16.4	12.1	13.6	0.6	6.9	3.2	4.9	10.9	13.6	15.6	120.9	16.4	10.075
2011	0	0	12.5	21.3	9.1	1	1.9	1.2	4.7	14.3	10.7	28.2	104.9	28.2	8.7416667
2012	15	28.4	20.8	7.2	12.1	0.9	14	7	13.3	13.6	19.7	28.6	180.6	28.6	15.05
2013	18.5	16.9	25.7	12.4	8.9	2.7	0	3.4	21.3	3.5	9.2	11.2	133.7	25.7	11.141667
PRO M	17.164	19.572	19.6	14.504	8.356	4.804	4.62	5.68	13.02	14.672	17.936	24.36	164.288	24.36	

**Figura 61**

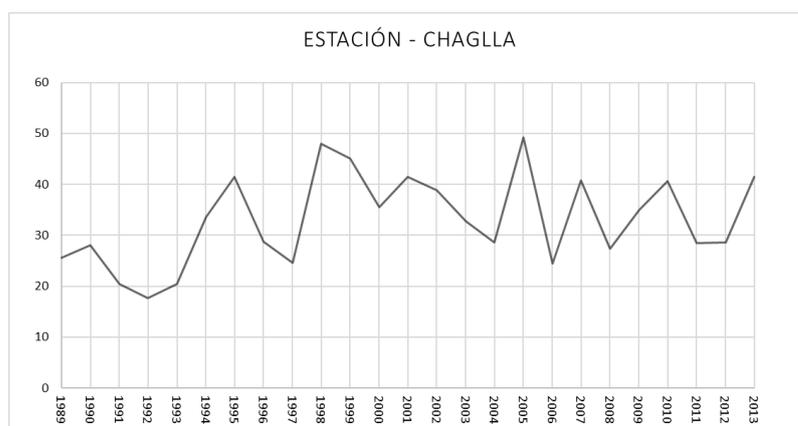
*Precipitaciones máximas – Estación San Rafael*



**Tabla 49**

*Registro histórico de precipitaciones – Estación Chaglla*

ESTACIÓN - CHAGLLA															
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO	PROMEDIO
1989	9.7	8.5	6.5	11	4.2	3.4	11.3	2.3	4.7	7.3	5.2	25.5	99.6	25.5	8.3
1990	28.1	15.6	10.5	6.4	8.5	0	6.4	9.3	15.3	8.3	7.6	6.7	122.7	28.1	10.225
1991	15.7	9.8	10	18.7	15.4	10.5	1.8	2.5	6.7	12.4	20.4	9.7	133.6	20.4	11.133333
1992	6.8	10.4	6.8	3.6	12.9	7	16	16	9	14.4	17.7	11.3	131.9	17.7	10.991667
1993	20.4	19.6	10.3	18.3	5.9	5	1	5.2	16.6	15.3	19.6	20.2	157.4	20.4	13.116667
1994	17.7	24.8	33.6	33.2	30.4	6	22.2	4.3	20.7	19.6	16.5	28	257	33.6	21.416667
1995	26.8	26.8	35.2	27	14.3	29.2	14.2	9.6	12.3	41.5	20.8	8.6	266.3	41.5	22.191667
1996	20.2	14.8	25.4	6.8	7.3	4	8.8	11.6	10	13.7	28.7	9.3	160.6	28.7	13.383333
1997	6.1	21.1	21.7	24.2	4.2	3.8	24.6	10	22.4	22.1	14.6	9.8	184.6	24.6	15.383333
1998	23	15.2	20	5.2	30	3.5	2.3	29	18.6	11.8	10.5	48	217.1	48	18.091667
1999	10	29.8	45	9	21.2	11.4	11.2	19.5	23.4	34	18.2	23.3	256	45	21.333333
2000	29.4	12.4	28.8	0	4.5	3.7	7.4	6.7	11.4	20.6	35.5	23.3	183.7	35.5	15.308333
2001	20.6	20	30.8	28.3	4	19.8	4.4	6.8	8	41.5	30.3	32.2	246.7	41.5	20.558333
2002	30.2	38.8	30	30	10	11	9.8	14.2	12.4	18	30.6	20.8	255.8	38.8	21.316667
2003	16.8	18.8	23.2	30.4	5.6	6.4	13	3.4	13.8	18	32.8	20.4	202.6	32.8	16.883333
2004	28.6	16.6	16.6	8.4	14.8	14.4	16	10.4	14.8	17.4	17.4	28	203.4	28.6	16.95
2005	35.6	49.2	27.2	26.2	10.2	0	10.2	18.6	15	19.4	27.8	26.6	266	49.2	22.166667
2006	16.4	18.6	24.4	20.8	18.4	14.8	12.6	17.4	14.8	16.4	16.4	11.8	202.8	24.4	16.9
2007	6.6	16.8	14.8	18.8	16.4	6.4	10.4	9.6	13	14.4	40.8	17.4	185.4	40.8	15.45
2008	18.8	18.4	20.4	16.4	20.6	16.8	12	23.2	20.2	23.6	26.8	27.4	244.6	27.4	20.383333
2009	26.2	33.6	23.6	32.6	25	17.8	12.4	15.2	35	31.6	27.2	25	305.2	35	25.433333
2010	23	21.8	24	17.2	26.2	11.6	18.6	19.6	13.4	30	34	40.6	280	40.6	23.333333
2011	21.7	3.7	28.4	27.8	11	26.8	4.3	0	9.6	22.1	24.6	23.8	203.8	28.4	16.983333
2012	28	25	28.6	24	22.8	12.4	12.4	18.2	20	25.6	25.4	26.2	268.6	28.6	22.383333
2013	26.8	26.8	35.2	27	14.3	29.2	14.2	9.6	12.3	41.5	20.8	8.6	266.3	41.5	22.191667
<b>PRO M</b>	<b>20.528</b>	<b>20.676</b>	<b>23.24</b>	<b>18.852</b>	<b>14.324</b>	<b>10.996</b>	<b>11.1</b>	<b>11.688</b>	<b>14.936</b>	<b>21.62</b>	<b>22.808</b>	<b>21.3</b>	<b>212.068</b>	<b>23.24</b>	<b>17.672333</b>

**Figura 62***Precipitaciones máximas – Estación Chaglla***Tabla 50***Análisis de consistencia de datos***ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS**

AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN	ESTACIÓN - HUÁNUCO	ESTACIÓN - PUENTE TARUCA	ESTACIÓN - JACAS CHICO	ESTACIÓN - SAN RAFAEL	ESTACIÓN - CHAGLLA
1989	258.600	98.19	163.00	194.800	38.500	25.500
1990	82.590	86.80	113.75	149.800	36.800	28.100
1991	34.400	93.40	115.67	248.890	22.800	20.400
1992	51.400	97.40	97.59	187.190	56.700	17.700
1993	101.300	97.30	132.99	181.600	29.400	20.400
1994	71.400	81.19	130.96	207.690	21.600	33.600
1995	67.400	59.00	117.82	177.000	25.100	41.500
1996	74.090	69.30	101.31	180.500	41.800	28.700
1997	88.690	54.59	116.61	206.190	29.900	24.600
1998	94.690	93.50	168.60	273.290	52.900	48.000
1999	136.300	109.30	178.47	213.800	41.900	45.000
2000	132.890	148.10	207.76	291.700	32.000	35.500
2001	115.400	85.19	164.19	201.100	28.800	41.500
2002	103.800	109.80	135.22	164.890	31.900	38.800
2003	88.190	83.09	150.94	243.890	42.100	32.800
2004	89.900	104.59	136.79	184.100	25.500	28.600
2005	147.800	106.90	151.04	164.800	25.100	49.200
2006	122.500	112.69	155.63	194.100	21.800	24.400
2007	67.300	81.59	138.22	255.600	33.500	40.800
2008	94.400	91.30	139.62	187.300	41.100	27.400
2009	114.000	90.80	147.45	218.190	25.700	35.000
2010	116.590	91.59	149.59	198.300	16.400	40.600
2011	113.190	141.60	165.16	208.690	28.200	28.400
2012	159.000	154.69	199.81	268.390	28.600	28.600
2013	127.690	92.00	171.00	254.500	25.700	41.500

**Tabla 51**

*Datos acumulados de precipitación*

AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN		ESTACIÓN - HUÁNUCO		ESTACIÓN - PUENTE TARUCA		ESTACIÓN - JACAS CHICO		ESTACIÓN - SAN RAFAEL		ESTACIÓN - CHAGLLA	
	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum
1989	258.60	258.60	98.19	98.19	163.00	163.00	194.80	194.80	38.50	38.50	25.50	25.50
1990	82.59	341.19	86.80	184.99	113.75	276.75	149.80	344.60	36.80	75.30	28.10	53.60
1991	34.40	375.59	93.40	278.39	115.67	392.42	248.89	593.49	22.80	98.10	20.40	74.00
1992	51.40	426.99	97.40	375.79	97.59	490.01	187.19	780.68	56.70	154.80	17.70	91.70
1993	101.30	528.29	97.30	473.09	132.99	623.00	181.60	962.28	29.40	184.20	20.40	112.10
1994	71.40	599.69	81.19	554.28	130.96	753.96	207.69	1169.97	21.60	205.80	33.60	145.70
1995	67.40	667.09	59.00	613.28	117.82	871.78	177.00	1346.97	25.10	230.90	41.50	187.20
1996	74.09	741.18	69.30	682.58	101.31	973.09	180.50	1527.47	41.80	272.70	28.70	215.90
1997	88.69	829.87	54.59	737.17	116.61	1089.70	206.19	1733.66	29.90	302.60	24.60	240.50
1998	94.69	924.56	93.50	830.67	168.60	1258.30	273.29	2006.95	52.90	355.50	48.00	288.50
1999	136.30	1060.86	109.30	939.97	178.47	1436.77	213.80	2220.75	41.90	397.40	45.00	333.50
2000	132.89	1193.75	148.10	1088.07	207.76	1644.53	291.70	2512.45	32.00	429.40	35.50	369.00
2001	115.40	1309.15	85.19	1173.26	164.19	1808.72	201.10	2713.55	28.80	458.20	41.50	410.50
2002	103.80	1412.95	109.80	1283.06	135.22	1943.94	164.89	2878.44	31.90	490.10	38.80	449.30
2003	88.19	1501.14	83.09	1366.15	150.94	2094.88	243.89	3122.33	42.10	532.20	32.80	482.10
2004	89.90	1591.04	104.59	1470.74	136.79	2231.67	184.10	3306.43	25.50	557.70	28.60	510.70
2005	147.80	1738.84	106.90	1577.64	151.04	2382.71	164.80	3471.23	25.10	582.80	49.20	559.90
2006	122.50	1861.34	112.69	1690.33	155.63	2538.34	194.10	3665.33	21.80	604.60	24.40	584.30
2007	67.30	1928.64	81.59	1771.92	138.22	2676.56	255.60	3920.93	33.50	638.10	40.80	625.10
2008	94.40	2023.04	91.30	1863.22	139.62	2816.18	187.30	4108.23	41.10	679.20	27.40	652.50
2009	114.00	2137.04	90.80	1954.02	147.45	2963.63	218.19	4326.42	25.70	704.90	35.00	687.50
2010	116.59	2253.63	91.59	2045.61	149.59	3113.22	198.30	4524.72	16.40	721.30	40.60	728.10
2011	113.19	2366.82	141.60	2187.21	165.16	3278.38	208.69	4733.41	28.20	749.50	28.40	756.50
2012	159.00	2525.82	154.69	2341.90	199.81	3478.19	268.39	5001.80	28.60	778.10	28.60	785.10
2013	127.69	2653.51	92.00	2433.90	171.00	3649.19	254.50	5256.30	25.70	803.80	41.50	826.60

**Tabla 52**

*Precipitaciones de la estación seleccionada de Canchan*

AÑO	PRECIPITACIONES MÁXIMAS MENSUALES (mm)												PMÁX. PRECIPITACIÓN	PMÍN. PRECIPITACIÓN	PMED. PRECIPITACIÓN
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			
1989	79.4	61.5	82.59	22.1	10.6	8.3	9.6	0	15.89	46.7	23.39	258.66	258.60	0.00	51.56
1990	64.9	23.39	13.5	35.4	34.5	19.79	0.2	2.7	10.1	76.5	82.59	50.7	82.59	0.20	34.52
1991	15.3	28.5	0	18.89	5	14.8	0	0	19.7	34.4	32.59	33.4	34.40	0.00	16.88
1992	19.7	33.09	49.9	15.5	3	8.39	1	33.9	7	27.1	32.5	51.4	51.40	1.00	23.54
1993	24.89	56.2	101.33	42.5	39.79	5.19	1	2.09	33.29	46.59	90.59	86.8	101.30	1.00	44.19
1994	71.4	67.3	52.59	50.29	16.7	1.29	1.2	0	22.1	47.9	26.79	65	71.40	0.00	35.21
1995	58.59	60.79	67.4	24.79	8	2.79	0	0	14.89	16.1	21	47.4	67.40	0.00	26.81
1996	51.09	31	42.5	74.09	13.8	0	1.6	1.5	7.3	18.39	50.7	27.2	74.09	0.00	26.60
1997	88.69	50.09	30.1	17.1	12.3	10.5	0	15.8	8.89	29.2	27.7	55.59	88.69	0.00	28.83
1998	94.69	67.19	63.59	10.69	3.29	1.2	0	0.5	11.1	16.29	64.5	50.9	94.69	0.00	32.00
1999	83	94.19	136.33	20.89	8.5	4.4	5.19	1.5	23.6	16.5	44.9	75.69	136.30	1.50	42.89
2000	79.3	81.69	132.89	14.19	4.59	17.6	9	22.1	12.39	26.39	31	83.59	132.89	4.59	42.89
2001	115.4	43.5	94.8	38.2	11.39	3	14.19	5.09	12.69	52.79	87.59	70.4	115.40	3.00	45.75
2002	18.7	58.4	103.88	46.5	20.7	1.7	25.29	7.3	12.1	65.3	35.29	39.2	103.80	1.70	36.19
2003	50.09	42.4	86.19	31.7	13	0	0	9.69	20.6	43.79	62.59	88.19	88.19	0.00	37.35

2004	29.6	60.7	89.9	18.2	31.7	11.3 <sub>9</sub>	8.6	17.7 <sub>9</sub>	19.7	51.7	22.1	87.6 <sub>9</sub>	89.90	8.60	37.42
2005	77.5 <sub>9</sub>	69.9	105	14.6	1	0	6.59	20.3 <sub>9</sub>	11	47.2 <sub>9</sub>	28.7 <sub>9</sub>	147.8	147.80	0.00	44.16
2006	122.5	57.9	99.5 <sub>9</sub>	33.7 <sub>9</sub>	5.69	10.3	1	1.39	17	85.6 <sub>9</sub>	69.0 <sub>9</sub>	88.9	122.50	1.00	49.40
2007	45	4.4	64	22.6	20.1	0	4.59	3	5.8	67.3	49.4	67.0 <sub>9</sub>	67.30	0.00	29.44
2008	74	94.4	78.5 <sub>9</sub>	48.2	5.8	1.89	2.09	3.59	32	37.7	43.7 <sub>9</sub>	73.6 <sub>9</sub>	94.40	1.89	41.31
2009	114	96.9	93.3	71	6	16.1	12.6	1.6	10.1	41	50.0 <sub>9</sub>	95.8	114.00	1.60	50.71
2010	26.3 <sub>9</sub>	116.59	86.8	29.8 <sub>9</sub>	8.1	0	2.4	5.3	20.7	39.0 <sub>9</sub>	69.5 <sub>9</sub>	65.8	116.59	0.00	39.22
2011	80.5	65.9	107.4	31.3 <sub>9</sub>	25.2	0	2.4	3.5	9.3	88.8	48.0 <sub>9</sub>	113.19	113.19	0.00	47.97
2012	78.8	83.6 <sub>9</sub>	27.8 <sub>9</sub>	58.9	10.3	3.4	6.3	4.8	4	66.3	84.5	159	159.00	3.40	48.99
2013	64.1 <sub>9</sub>	98.8	127.69	49.5 <sub>9</sub>	5.69	27.1	13.3 <sub>9</sub>	27.6	4.59	41.7	56	76.6 <sub>9</sub>	127.69	4.59	49.42
MÁX	122.5	116.59	136.3	74.0 <sub>9</sub>	39.7 <sub>9</sub>	19.7 <sub>9</sub>	25.2 <sub>9</sub>	33.9	33.2 <sub>9</sub>	88.8	90.5 <sub>9</sub>	258.6	258.60	8.60	51.56
MÍN	15.3	4.4	0	10.6 <sub>9</sub>	1	0	0	0	4	16.1	21	27.2	34.40	0.00	16.88
MEDIA	65.108	61.936	77.504	33.64	12.99	5.9179	4.785	6.8138	15.052	45.367	49.132	82.626	106.14	1.36	38.53

Figura 63

Precipitaciones expresadas en logaritmo

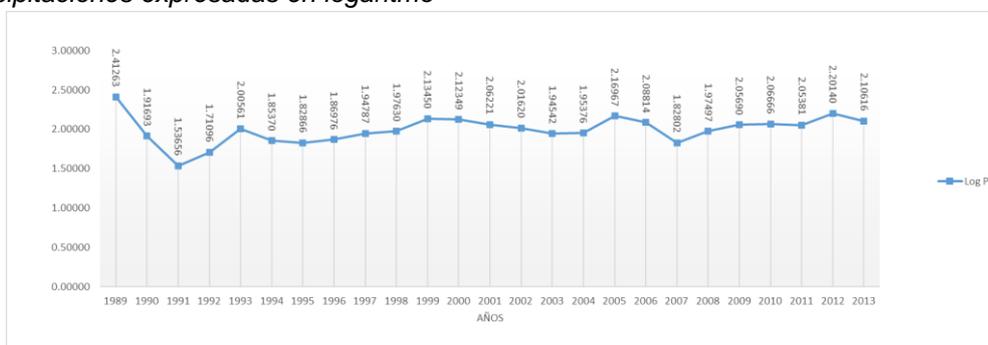


Tabla 53

Valores para la distribución Normal

m	P mensual máx (mm)	Media	Desviación Estándar	P (X) = m/n+1	Z = X-Xm/S	f(Z)	F(Z)	Delta
1	34.40			0.0385	-1.646	0.103	0.0498	0.0114
2	51.40			0.0769	-1.256	0.181	0.1045	0.0276
3	67.30			0.1154	-0.891	0.268	0.1864	0.0710
4	67.40			0.1538	-0.889	0.269	0.1870	0.0331
5	71.40			0.1923	-0.797	0.290	0.2126	0.0203
6	74.09			0.2308	-0.736	0.304	0.2310	0.0002
7	82.59			0.2692	-0.540	0.345	0.2944	0.0252
8	88.19			0.3077	-0.412	0.366	0.3402	0.0325
9	88.69			0.3462	-0.400	0.368	0.3444	0.0018
10	89.90	106.1404	43.57313	0.3846	-0.373	0.372	0.3547	0.0299
11	94.40			0.4231	-0.269	0.385	0.3938	0.0293
12	94.69			0.4615	-0.263	0.385	0.3964	0.0652
13	101.30			0.5000	-0.111	0.396	0.4558	0.0442
14	103.80			0.5385	-0.054	0.398	0.4786	0.0599
15	113.19			0.5769	0.162	0.394	0.5643	0.0127
16	114.00			0.6154	0.180	0.393	0.5716	0.0438
17	115.40			0.6538	0.213	0.390	0.5841	0.0697
18	116.59			0.6923	0.240	0.388	0.5948	0.0975

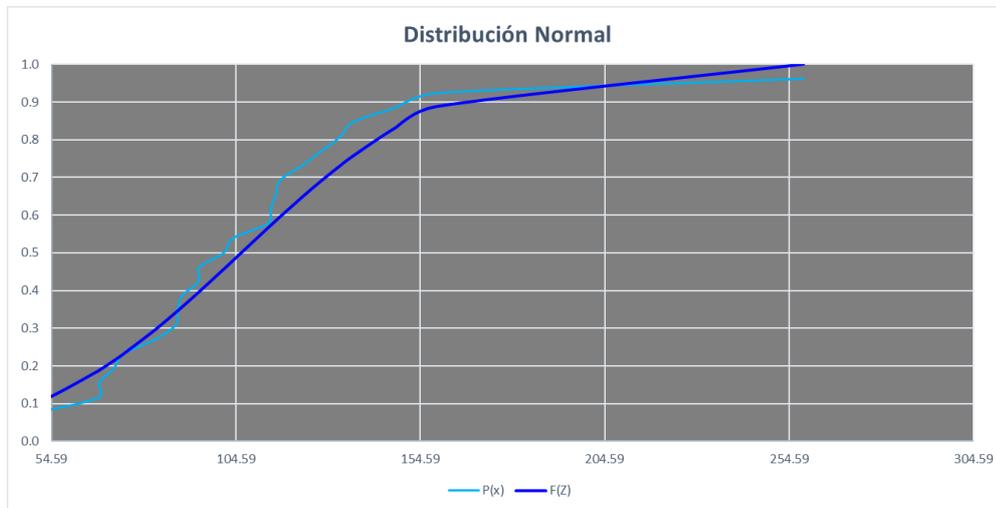
19	122.50	0.7308	0.375	0.372	0.6463	0.0844
20	127.69	0.7692	0.495	0.353	0.6895	0.0797
21	132.89	0.8077	0.614	0.330	0.7304	0.0773
22	136.30	0.8462	0.692	0.314	0.7556	0.0906
23	147.80	0.8846	0.956	0.253	0.8305	0.0541
24	159.00	0.9231	1.213	0.191	0.8875	0.0356
25	258.60	0.9615	3.499	0.001	0.9998	0.0382

0.0975 < 0.2720

SE AJUSTA

**Figura 64**

*Distribución Normal*



**Tabla 54**

*Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Normal*

T	P(mm)	Delta
10	161.99	0.09754
25	182.44	0.09754
50	195.648	0.09754
100	207.526	0.09754
150	213.991	0.09754

**Tabla 55**

*Valores para la distribución Log-Normal*

m	X	Y=LnX	P(x)	Media Ln(X)	Desv. Estándar Ln(X)	Z=(X-Xm)/S	f(z)	F(z)	Delta
1	34.40	3.538	0.038			-2.6438	0.0009	0.0041	0.0344
2	51.40	3.940	0.077			-1.6350	0.0051	0.0510	0.0259
3	67.30	4.209	0.115			-0.9579	0.0094	0.1691	0.0537
4	67.40	4.211	0.154	4.5905	0.3981	-0.9542	0.0094	0.1700	0.0162
5	71.40	4.268	0.192			-0.8093	0.0101	0.2092	0.0169
6	74.09	4.305	0.231			-0.7164	0.0105	0.2369	0.0061
7	82.59	4.414	0.269			-0.4436	0.0110	0.3287	0.0594

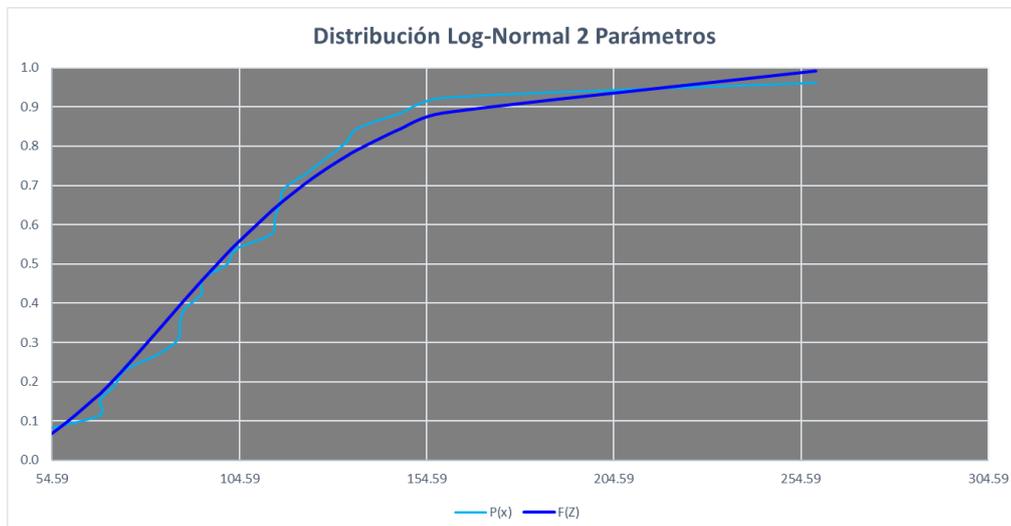
<b>8</b>	88.19	4.479	0.308	-0.2788	0.0109	0.3902	0.0825
<b>9</b>	88.69	4.485	0.346	-0.2646	0.0109	0.3957	0.0495
<b>10</b>	89.90	4.499	0.385	-0.2305	0.0109	0.4088	0.0242
<b>11</b>	94.40	4.548	0.423	-0.1078	0.0106	0.4571	0.0340
<b>12</b>	94.69	4.551	0.462	-0.1001	0.0105	0.4601	0.0014
<b>13</b>	101.30	4.618	0.500	0.0694	0.0099	0.5277	0.0277
<b>14</b>	103.80	4.642	0.538	0.1307	0.0096	0.5520	0.0135
<b>15</b>	113.19	4.729	0.577	0.3482	0.0083	0.6362	0.0592
<b>16</b>	114.00	4.736	0.615	0.3661	0.0082	0.6429	0.0275
<b>17</b>	115.40	4.748	0.654	0.3968	0.0080	0.6542	0.0004
<b>18</b>	116.59	4.759	0.692	0.4226	0.0079	0.6637	0.0286
<b>19</b>	122.50	4.808	0.731	0.5468	0.0070	0.7077	0.0230
<b>20</b>	127.69	4.850	0.769	0.6510	0.0063	0.7425	0.0267
<b>21</b>	132.89	4.890	0.808	0.7513	0.0057	0.7738	0.0339
<b>22</b>	136.30	4.915	0.846	0.8150	0.0053	0.7925	0.0537
<b>23</b>	147.80	4.996	0.885	1.0184	0.0040	0.8458	0.0388
<b>24</b>	159.00	5.069	0.923	1.2019	0.0031	0.8853	0.0378
<b>25</b>	258.60	5.555	0.962	2.4238	0.0002	0.9923	0.0308

0.0825 < 0.2720

SE AJUSTA

**Figura 65**

*Distribución Log-Normal*



**Tabla 56**

*Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Log-Normal*

<b>T</b>	<b>P(mm)</b>	<b>delta</b>
<b>10</b>	164.13	0.08252
<b>25</b>	197.85	0.08252
<b>50</b>	223.218	0.08252
<b>100</b>	248.802	0.08252
<b>150</b>	263.939	0.08252

**Tabla 57**

Valores para la distribución Log-Normal 3 Parámetros

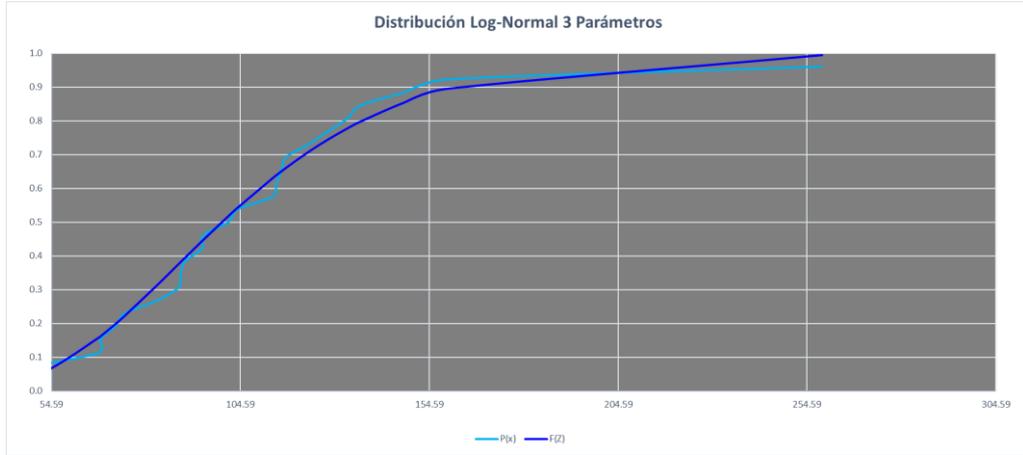
m	X	P(X)	Mediana	X0	(X-X0)	Ln (X-X0)	Media Ln (X-X0)	Desv. Estándar Ln(X-X0)	Z	f(Z)	F(Z)	Delta
1	34.40	0.038			49.509	3.902			2.52709	0.00099	0.00575	0.03271
2	51.40	0.077			66.509	4.197			1.63916	0.00471	0.05059	0.02633
3	67.30	0.115			82.409	4.412			0.99435	0.00888	0.16003	0.04464
4	67.40	0.154			82.509	4.413			0.99070	0.00890	0.16092	0.00707
5	71.40	0.192			86.509	4.460			0.84829	0.00968	0.19814	0.00583
6	74.09	0.231			89.199	4.491			0.75618	0.01011	0.22477	0.00600
7	82.59	0.269			97.699	4.582			0.48238	0.01093	0.31477	0.04554
8	88.19	0.308			103.299	4.638			0.31472	0.01106	0.37649	0.06879
9	88.69	0.346			103.799	4.642			0.30020	0.01105	0.38201	0.03586
10	89.90	0.385			105.009	4.654			0.26533	0.01103	0.39538	0.01076
11	94.40	0.423	101.3000	15.1090	109.509	4.696	4.7423	0.3324	0.13911	0.01085	0.44468	0.02160
12	94.69	0.462			109.799	4.699			0.13116	0.01084	0.44783	0.01371
13	101.30	0.500			116.409	4.757			0.04469	0.01030	0.51782	0.01782
14	103.80	0.538			118.909	4.778			0.10861	0.01003	0.54324	0.00478
15	113.10	0.577			128.299	4.854			0.33724	0.00884	0.63203	0.05511
16	114.00	0.615			129.109	4.861			0.35617	0.00872	0.63914	0.02376
17	115.40	0.654			130.509	4.871			0.38861	0.00853	0.65122	0.00263
18	116.50	0.692			131.699	4.882			0.41592	0.00836	0.66126	0.03104
19	122.50	0.731			137.609	4.924			0.54796	0.00751	0.70814	0.02263
20	127.60	0.769			142.799	4.961			0.65933	0.00676	0.74516	0.02407
21	132.80	0.808			147.999	4.997			0.76692	0.00604	0.77844	0.02926
22	136.30	0.846			151.409	5.020			0.83544	0.00559	0.79827	0.04789
23	147.80	0.885			162.909	5.093			1.05566	0.00422	0.85444	0.03018
24	159.00	0.923			174.109	5.160			1.25566	0.00313	0.89538	0.02770
25	258.60	0.962			273.709	5.612			2.61647	0.00014	0.99556	0.03402

$$0.0688 < 0.2720$$

SE AJUSTA

**Figura 66**

*Distribución Log-Normal 3 Parámetros*



**Tabla 58**

*Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Log-Normal 3 Parámetros*

T	P(mm)	delta
10	160.52	0.06879
25	190.17	0.06879
50	211.930	0.06879
100	233.470	0.06879
150	246.040	0.06879

**Tabla 59**

*Valores para la distribución Gumbel*

m	x	P(x)	Ln (x)	Media Ln (x)	S Ln(x)	$\mu$	$\alpha$	F(x)	$\Delta$
1	34.40	0.04	3.54					0.0000	0.0385
2	51.40	0.08	3.94					0.0103	0.0666
3	67.30	0.12	4.21					0.1469	0.0315
4	67.40	0.15	4.21					0.1482	0.0056
5	71.40	0.19	4.27					0.2049	0.0126
6	74.09	0.23	4.31					0.2448	0.0140
7	82.59	0.27	4.41					0.3709	0.1017
8	88.19	0.31	4.48					0.4481	0.1404
9	88.69	0.35	4.49					0.4546	0.1084
10	89.90	0.38	4.50					0.4702	0.0856
11	94.40	0.42	4.55	4.5905	0.3981	4.4113	0.3104	0.5248	0.1017
12	94.69	0.46	4.55					0.5281	0.0666
13	101.30	0.50	4.62					0.5983	0.0983
14	103.80	0.54	4.64					0.6220	0.0835
15	113.19	0.58	4.73					0.6982	0.1213
16	114.00	0.62	4.74					0.7039	0.0885
17	115.40	0.65	4.75					0.7135	0.0597
18	116.59	0.69	4.76					0.7214	0.0291
19	122.50	0.73	4.81					0.7569	0.0262
20	127.69	0.77	4.85					0.7838	0.0145

<b>21</b>	132.89	0.81	4.89		0.8072	0.0005
<b>22</b>	136.30	0.85	4.91		0.8208	0.0253
<b>23</b>	147.80	0.88	5.00		0.8589	0.0257
<b>24</b>	159.00	0.92	5.07		0.8868	0.0363
<b>25</b>	258.60	0.96	5.56		0.9752	0.0137

0.1404 < 0.2720

SE AJUSTA

**Figura 67**

*Distribución Gumbel*



**Tabla 60**

*Precipitaciones para diferentes periodos de retorno – Distribución Gumbel*

T	P(mm)	delta
<b>10</b>	165.63	0.14037
<b>25</b>	222.3	0.14037
<b>50</b>	276.540	0.14037
<b>100</b>	276.540	0.14037
<b>150</b>	389.710	0.14037

**Tabla 61**

*Prueba Kolmogorov – Smirnov*

RESUMEN	
DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO
<b>NORMAL</b>	0.0975
<b>LOG-NORMAL</b>	0.0825
<b>LOG-NOMAL 3P</b>	0.0688
<b>LOG-GUMBEL</b>	0.1404

Min **0.0688** = **LOG-NOMAL 3P**

**Tabla 62**

*Precipitaciones máximas para la Distribución Log-Normal de 3 Parámetros*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS ANUALES			
DISTRIBUCIÓN	N°	T (años)	P (mm)
LOG-NOMAL 3P	1	10	160.52
	2	50	211.93
	3	100	233.47
	4	150	246.04

**Tabla 63**

*Intensidad de precipitación para la metodología Dyck Peschke*

INTENSIDADES MÁXIMAS AJUSTADAS - DYCK PESCHKE						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
T=26.00	119.591	71.109	52.463	31.195	18.549	11.029
T=13.00	89.020	52.932	39.052	23.221	13.807	8.210
T=8.67	74.902	44.537	32.859	19.538	11.617	6.908
T=6.50	66.264	39.401	29.070	17.285	10.278	6.111
T=5.20	60.257	35.829	26.434	15.718	9.346	5.557
T=4.33	55.755	33.152	24.459	14.544	8.648	5.142
T=3.71	52.212	31.045	22.905	13.619	8.098	4.815
T=3.25	49.325	29.329	21.639	12.866	7.650	4.549
T=2.89	46.912	27.894	20.580	12.237	7.276	4.326
T=2.60	44.854	26.670	19.677	11.700	6.957	4.137
T=2.36	43.069	25.609	18.894	11.235	6.680	3.972
T=2.17	41.502	24.678	18.207	10.826	6.437	3.828
T=2.00	40.111	23.850	17.597	10.463	6.221	3.699
T=1.86	38.865	23.109	17.050	10.138	6.028	3.584
T=1.73	37.740	22.440	16.556	9.844	5.853	3.480
T=1.63	36.717	21.832	16.107	9.577	5.695	3.386
T=1.53	35.781	21.275	15.697	9.333	5.550	3.300
T=1.44	34.920	20.764	15.319	9.109	5.416	3.220
T=1.37	34.125	20.291	14.970	8.901	5.293	3.147
T=1.30	33.388	19.853	14.647	8.709	5.178	3.079
T=1.24	32.701	19.444	14.346	8.530	5.072	3.016
T=1.18	32.060	19.063	14.064	8.363	4.972	2.957
T=1.13	31.458	18.705	13.801	8.206	4.879	2.901
T=1.08	30.893	18.369	13.553	8.058	4.792	2.849
T=1.04	30.361	18.053	13.319	7.920	4.709	2.800

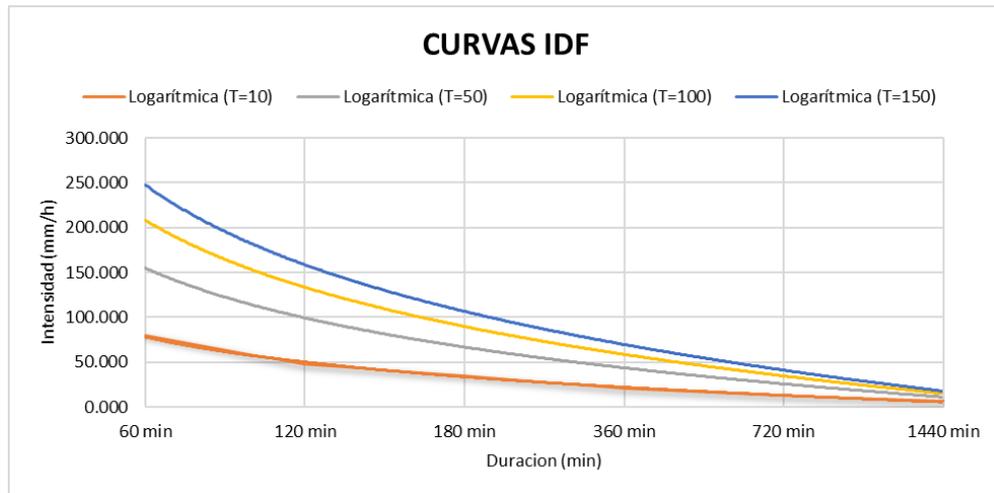
**Tabla 64**

*Intensidad de precipitación para la metodología Dyck Peschke-2*

T	T=10	T=50	T=100	T=150
60 min	79.609	157.998	212.256	252.265
120 min	47.336	93.946	126.208	149.998
180 min	34.924	69.312	93.115	110.667
360 min	20.766	41.213	55.366	65.803
720 min	12.347	24.506	32.921	39.127
1440 min	7.342	14.571	19.575	23.265

**Figura 68**

Curva IDF – Metodología Dyck Peschke



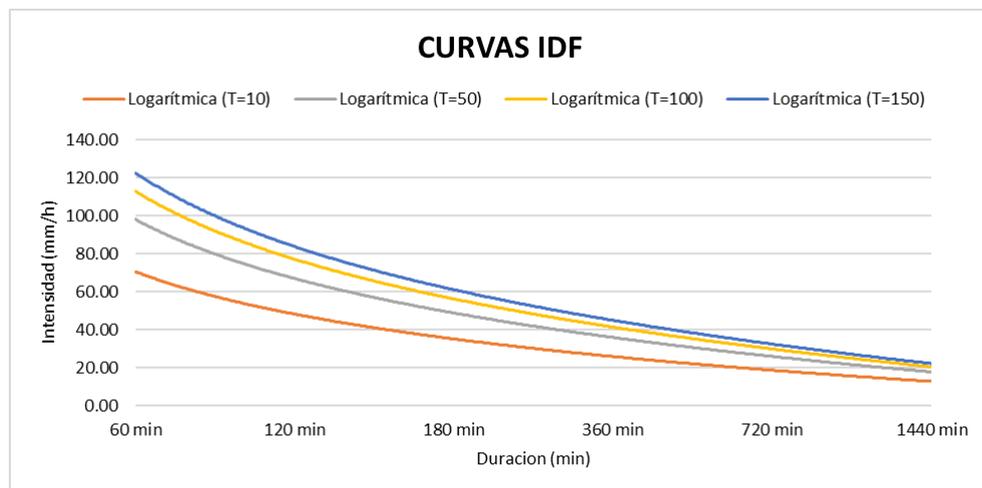
**Tabla 65**

Intensidad de precipitación para la metodología Bell

<b>INTENSIDADES MÁXIMAS DE DISEÑO - FÓRMULA DE BELL</b>						
<b>T</b>	<b>60 min</b>	<b>120 min</b>	<b>180 min</b>	<b>360 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>T=10</b>	69.90	47.63	38.05	25.93	17.67	12.04
<b>T=50</b>	97.07	66.14	52.84	36.01	24.53	16.72
<b>T=100</b>	111.81	76.19	60.87	41.48	28.26	19.26
<b>T=150</b>	121.46	82.76	66.12	45.05	30.70	20.92

**Figura 69**

Curva IDF – Metodología Bell



**Tabla 66***Determinación de caudales máximos por diversas metodologías*

<b>CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>T(años)</b>	<b>MET. RACIONAL</b>	<b>MET. MAC MATH</b>	<b>MET. MAC MATH CON DYCK PESCHKE</b>
<b>10</b>	524.792	1111.862	1218.403
<b>50</b>	728.785	1544.055	2418.192
<b>100</b>	839.483	1778.588	3248.720
<b>150</b>	911.860	1931.930	3861.024
<b>250</b>	1012.015	2144.127	4799.512
<b>500</b>	1165.721	2469.779	6447.627
<b>1000</b>	1342.772	2844.891	8661.777

**Tabla 67***Caudales determinados para el río Huacarmayo*

<b>CAUDALES DE DISEÑO CON FACTOR DE MAYORACIÓN</b>	
<b>T(años)</b>	<b>MET. RACIONAL</b>
<b>10</b>	682.230
<b>50</b>	947.421
<b>100</b>	1091.328
<b>150</b>	1185.418
<b>250</b>	1315.620
<b>500</b>	1515.437
<b>1000</b>	1745.604

## **ANEXO 03: PANEL FOTOGRÁFICO**

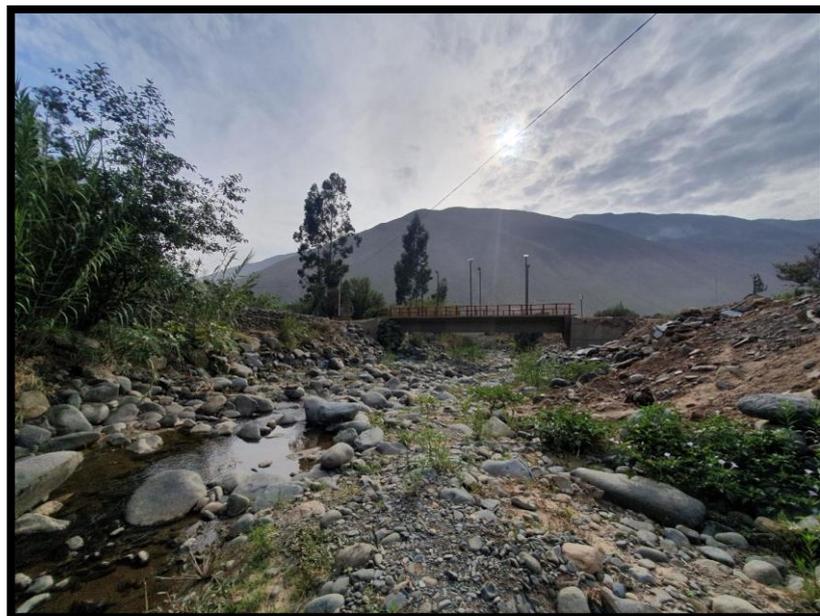
**Figura 70**

*Entrada al área de investigación a realizar por el tesista.*



**Figura 71**

*Perfil del cauce del rio Huacarmayo en la actualidad, ambos márgenes del rio se encuentran desprotegidos ante crecidas del rio Huacarmayo en épocas de lluvia.*



**Figura 72**

*Tesista dentro del cauce del rio Huacarmayo.*



**Figura 73**

*Tesista tomando los puntos con GPS para la realización del levantamiento topográfico.*



**Figura 74**

*Posibles zonas afectadas ante la crecida del río Huacarmayo, área de cultivos (margen izquierdo), malecón y estadio municipal del distrito de Huácar (margen derecho).*



## **ANEXO 04: RESOLUCIÓN DE ASESOR DE TESIS**

# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

### RESOLUCIÓN N° 942-2022-D-FI-UDH

Huánuco, 10 de mayo de 2022

Visto, el Oficio N° 546-2022-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 345243-0000003049, del Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación.

#### CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 345243-0000003049, presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, el mismo que propone al Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarría, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, al Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarría, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

**Artículo Segundo.** - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
SECRETARÍA  
DOCENTE  
Ing. Ethel Jheroni Manzano Lozano  
SECRETARIO DOCENTE

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DECANO  
Mg. Bertha Campos Ríos  
DECANA (JE) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

#### Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg. Acad. - Intercedido - Archivo.  
BLC/UE/MI/Info.

**ANEXO 05: RESOLUCIÓN DE APROBACION DE PROYECTO DE TESIS**

# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

### RESOLUCIÓN N° 1350-2022-D-FI-UDH

Huánuco, 14 de julio de 2022

Visto, el Oficio N° 881-2022-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022", presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**.

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 942-2022-D-FI-UDH, de fecha 10 de mayo de 2022, perteneciente al Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Martín César Valdivieso Echevarría, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 881-2022-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022", presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza (Secretario) y Mg. Efraín Raúl Martínez Fabián (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022", presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

**Artículo Segundo.** - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Ing. Ethel Jheroni Manzano Lozano  
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
Mg. Bertha Campos Ríos  
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

#### Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.  
BCR/EJM1/eto.

## **ANEXO 06: APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS**

# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

### RESOLUCIÓN N° 356-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 24 de febrero de 2023

Visto, el Oficio N° 258-2023-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Informe Final de Trabajo de investigación (Tesis) intitulado: **“PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022”**, presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**.

#### CONSIDERANDO:

Que, según mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1350-2022-D-FI-UDH, de fecha 14 de julio de 2022, se aprobó el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución, del Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, y;

Que, según Oficio N° 258-2023-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Informe Final de Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022”**, presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, integrado por los siguientes docentes Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Reyder Alexander Lambruschini Espionzo (Secretario) y Mg. Efraín Raúl Martínez Fabián (Vocal), quienes declaran APTO para la Sustentación de su Tesis, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Único.** - **APROBAR**, el Informe Final de Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“PLANTEAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA CON EL PROGRAMA RIVER PARA MITIGAR LOS DAÑOS DE SOCAVACIÓN DEL RÍO HUACARMAYO EN LA LOCALIDAD DE VIRAY, HUÁNUCO-2022”**, presentado por el (la) Bach. **Aaron Santino CASTILLO PARRA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Exp. Graduando – Interesado - Archivo.  
BCR/EJML/nto.