

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“Estudio de la escorrentía en una cuenca del rio Huacarmayo a través de la aplicación de un simulador de lluvia - Huánuco - 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Félix Cueva, Luigi

ASESORA: Granados Martinez, Daisy Guadalupe

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidrología, calidad del agua y saneamiento ambiental.

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

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): 71926181

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44533422

Grado/Título: Maestro en: gestión del sistema ambiental

Código ORCID: 0009-0002-2547-1688

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Cecilio Reyes, Fatima Rosaria	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	47064856	0009-0001-5016-5538



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 10:00 horas del día **jueves 09 de julio de 2026**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	PRESIDENTE
❖ MG. YELÉN LISSETH TRUJILLO ARIZA	SECRETARIO
❖ MG. FATIMA ROSARIA CECILIO RREYES	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1192-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bachiller, Bach: Luigi FELIX CUEVA, 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 12 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 11:00 horas del día 09 del mes de Julio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO

DNI: 41891649

ORCID: 0000-0001-8392-1769

PRESIDENTE

MG. YELÉN LISSETH TRUJILLO ARIZA

DNI: 70502371

ORCID: 0000-0002-5650-3745

SECRETARIO (A)

MG. FATIMA ROSARIA CECILIO REYES

DNI: 47064856

ORCID: 0009-0001-5016-5538

VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: LUIGI FÉLIX CUEVA, de la investigación titulada "ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024", con asesor(a) DAISY GUADALUPE GRANADOS MARTINEZ, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1196-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 18 % 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, 26 de noviembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

234. FÉLIX CUEVA LUIGI.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi fuente de inspiración en cada desafío.

A mis padres Neptali Félix Silva y Candelaria Cueva Torres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo, que han sido el motor y la inspiración en cada etapa de mi vida.

Y a mis hermanos, por su ánimo y compañía, que hicieron de este proceso un recorrido más llevadero y lleno de motivación.

A mis tíos y primas, por su cariño, por creer en mí y por ser parte de los pilares que me sostuvieron durante esta etapa. Sus muestras de afecto, sus palabras de apoyo y su cercanía han contribuido a que este proceso sea más llevadero y significativo.

Este trabajo no solo representa un objetivo alcanzado, sino también el reflejo del amor, la unión y los valores que me han formado como persona y profesional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por ser mi guía constante y sin su voluntad y bendición, nada de esto habría sido posible.

Agradecer a mis padres, por su amor, sacrificio y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Y agradecer a mis hermanos por su motivación en los momentos difíciles.

Extiendo también mi gratitud a mis tíos y primas, quienes con su cariño y motivación me animaron a seguir adelante y a nunca rendirme.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, fueron parte de este proceso: ingenieros, compañeros y amigos, por compartir sus conocimientos, experiencias y apoyo durante esta etapa tan significativa.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO	15
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	16
1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	16
1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	16
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7.1 VIABILIDAD OPERATIVA	17
1.7.2 VIABILIDAD TÉCNICA	18
1.7.3 VIABILIDAD ECONÓMICA – SOCIAL.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	19
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	21

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	24
2.2 BASES TEÓRICAS	25
2.2.1 CUENCA	25
2.2.2 HÍDRICO BALANCE.....	26
2.2.3 PRECIPITACIÓN.....	27
2.2.4 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA	31
2.2.5 INFILTRACIÓN.....	32
2.2.6 ENSAYOS DE INFILTRACIÓN	35
2.2.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	35
2.2.8 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	36
2.2.9 CAUDAL DE SALIDA	37
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	39
2.4 HIPÓTESIS	40
2.5 VARIABLES.....	41
2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	41
2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE	41
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	42
CAPÍTULO III.....	43
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.1.1 ENFOQUE.....	43
3.1.2 ALCANCE O NIVEL.....	43
3.1.3 DISEÑO.....	44
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	44
3.2.1 POBLACIÓN.....	44
3.2.2 MUESTRA.....	44
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	45
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	45
3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	46
CAPÍTULO IV.....	48
RESULTADOS.....	48
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	48

4.1.1	PRECIPITACIONES	48
4.1.2	HIDROESTA.....	49
4.1.3	INTENSIDADES	55
4.1.4	ESCORRENTÍA DIRECTA (PE).....	62
4.1.5	RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE LLUVIA Y LA ESCORRENTÍA.....	66
4.1.6	CAUDAL EN RELACIÓN A LA INTENSIDAD DE LLUVIA	67
4.1.7	DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA	69
4.2	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	71
	CAPÍTULO V.....	78
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES.....	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuenca	26
Figura 2 Hídrico Balance Esquema	27
Figura 3 Pluviometría.....	28
Figura 4 Escorrentía Subterránea.....	29
Figura 5 Flujo Superficial	30
Figura 6 Flujo Terrestre	31
Figura 7 Infiltración	32
Figura 8 Suelo Arenoso	34
Figura 9 Suelo Limoso	34
Figura 10 Estación cercana	45
Figura 11 Formato en que se descarga los datos.....	45
Figura 12 Distribución normal cálculo del delta teórico.....	49
Figura 13 Distribución Ganma 2 parámetros cálculo del delta teórico	50
Figura 14 Distribución Gumbel cálculo del delta teórico	50
Figura 15 Distribución Ganma 2 parámetros de 5 años.....	51
Figura 16 Distribución Ganma 2 parámetros de 10 años.....	52
Figura 17 Distribución Ganma 2 parámetros de 20 años.....	52
Figura 18 Distribución de Ganma 2 parámetros de 25 años.....	53
Figura 19 Distribución de Ganma 2 parámetros de 50 años.....	53
Figura 20 Distribución de Ganma 2 parámetros de 75 años.....	54
Figura 21 Distribución de Ganma 2 parámetros de 100 años.....	54
Figura 22 Gráfico de las intensidades para 5 años.....	56
Figura 23 Gráfico de las intensidades para 10 años.....	57
Figura 24 Gráfico de las intensidades para 20 años.....	58
Figura 25 Gráfico de las intensidades para 25 años.....	59
Figura 26 Gráfico de las intensidades para 50 años.....	60
Figura 27 Gráfico de las intensidades para 75 años.....	61
Figura 28 Gráfico de las intensidades para 100 años.....	62
Figura 29 Gráfico de relación entre la intensidad y el Pe.....	66
Figura 30 Gráfico de relación entre la intensidad y el caudal	69
Figura 31 Imagen satelital.....	93
Figura 32 Levantamiento topográfico con estación total.....	94

Figura 33 Montaje de estación total para levantamiento.....	94
Figura 34 Reconocimiento de campo del cauce y ribera del río Huacarmayo	95
Figura 35 Levantamiento cerca al puente Huacarmayo.....	95
Figura 36 Cauce del río Huacarmayo	96
Figura 37 Puente Huacarmayo	96
Figura 38 Datos de la estación San Rafael del SENAMHI.....	97
Figura 39 Recalculo de Intensidades para 5 años	98
Figura 40 Recalculo de Intensidades para 10 años.....	98
Figura 41 Recalculo de Intensidades para 20 años	99
Figura 42 Recalculo de Intensidades para 25 años	99
Figura 43 Recalculo de Intensidades para 50 años	100
Figura 44 Recalculo de Intensidades para 75 años.....	100
Figura 45 Recalculo de Intensidades para 100 años	101
Figura 46 Resultado de recalculo de Intensidades	101
Figura 47 Datos SPSS.....	102
Figura 48 Prueba de Normalidad SPSS	102
Figura 49 Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis General	103
Figura 50 Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Especifica 1.....	103
Figura 51 Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Especifica 2.....	104
Figura 52 Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Especifica 3.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	42
Tabla 2 Por año-mes los datos de precipitación máxima.....	46
Tabla 3 Precipitaciones máximas	48
Tabla 4 Precipitaciones máximas con la distribución Normal	55
Tabla 5 Cálculo de intensidades para 5 años	55
Tabla 6 Cálculo de intensidades para 10 años	56
Tabla 7 Cálculo de intensidades para 20 años	57
Tabla 8 Cálculo de intensidades para 25 años	58
Tabla 9 Cálculo de intensidades para 50 años	59
Tabla 10 Cálculo de intensidades para 75 años	60
Tabla 11 Cálculo de intensidades para 100 años	61
Tabla 12 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 5 años	63
Tabla 13 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 10 años	63
Tabla 14 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 20 años	63
Tabla 15 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 25 años	64
Tabla 16 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 50 años	64
Tabla 17 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 75 años	65
Tabla 18 Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 100 años	65
Tabla 19 Comparación de intensidad de lluvia y escorrentía directa	66
Tabla 20 Datos generales de la cuenca.....	67
Tabla 21 Caudales para Tiempos de retorno.....	68
Tabla 22 Comparación de intensidad de lluvia y Caudal	68
Tabla 23 Dimensiones del espigón por tiempo de retorno	70
Tabla 24 Comparación de Pe y Caudal	71
Tabla 25 Correlación de Pearson de Pe y Caudal	71
Tabla 26 Comparación de Intensidad de Lluvia y Escorrentía Directa (Pe)..	73
Tabla 27 Correlación de Intensidad de Lluvia y Escorrentía Directa (Pe).....	73
Tabla 28 Comparación de Intensidad de Lluvia y Caudal	74
Tabla 29 Correlación de Pearson de Intensidad de Lluvia y Caudal.....	74
Tabla 30 Relación entre Caudal Máximo y Dimensiones de la Defensa Ribereña	75
Tabla 31 Correlación de Pearson de Intensidad de Lluvia y Caudal.....	76

Tabla 32 Matriz de Consistencia.....90

RESUMEN

El presente estudio se centra en la evaluación de la escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo. La investigación tiene como objetivo principal determinar el comportamiento de la escorrentía y establecer un diseño adecuado para una defensa ribereña que controle el cauce del río. Para ello, se plantearon tres objetivos específicos: (1) determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía, (2) calcular los valores de caudal asociados a diferentes intensidades de lluvia, y (3) definir las dimensiones de la estructura de defensa ribereña.

A través del análisis de datos históricos de precipitación y caudales máximos para diferentes periodos de retorno (5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años), se encontró una correlación positiva y significativa ($r = 0.998$) entre la precipitación y los caudales, lo que respalda la hipótesis de que las variaciones en la precipitación influyen directamente en el comportamiento de la escorrentía. Los caudales estimados varían desde 13.68 m³/s para un periodo de 5 años hasta 67.919 m³/s para 100 años. Estos resultados subrayan la necesidad de diseñar infraestructuras resilientes ante eventos de alta precipitación.

Con base en los resultados, se proponen dimensiones preliminares para la defensa ribereña, que incluyen una altura de 3 a 4 metros y un ancho de base de 4 a 6 metros, adaptadas a la capacidad de respuesta de la cuenca a eventos extremos. Además, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de precipitaciones y caudales, el desarrollo de modelos hidrológicos predictivos, la construcción de infraestructuras resilientes y la promoción de la educación y concienciación en la comunidad.

Palabras Clave: Escorrentía, Cuenca del río Huacarmayo, Simulador de lluvia, Defensa ribereña, Correlación precipitación-caudal, Caudales máximos.

ABSTRACT

This study focuses on the assessment of runoff in the Huacarmayo river basin, by applying a rainfall simulator. The main objective of the research is to determine the runoff behavior and establish an appropriate design for a ****riparian defense**** that controls the river channel. To do so, three specific objectives were proposed: (1) determine the relationship between rainfall intensity and runoff rate, (2) calculate the flow values associated with different rainfall intensities, and (3) define the dimensions of the riparian defense structure. Through the analysis of historical precipitation and peak flow data for different return periods (5, 10, 20, 25, 50, 75, and 100 years), a positive and significant correlation ($r = 0.998$) was found between precipitation and flows, supporting the hypothesis that variations in precipitation directly influence runoff behavior. Estimated flows range from 13.68 m³/s for a 5-year period to 67.919 m³/s for 100 years. These results underscore the need to design resilient infrastructures for high precipitation events.

Based on the results, preliminary dimensions for riverbank defense are proposed, including a height of 3 to 4 meters and a base width of 4 to 6 meters, adapted to the basin's response capacity to extreme events. In addition, it is recommended to establish a continuous monitoring system for rainfall and flow, the development of predictive hydrological models, the construction of resilient infrastructures and the promotion of education and awareness in the community.

Keywords: Runoff, Huacarmayo River Basin, Rainfall simulator, Riparian defense, Precipitation-flow correlation, Maximum flows.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Huacarmayo, ubicada en la región de Huánuco, es un área de vital importancia debido a su biodiversidad, recursos naturales y el papel fundamental que juega en la regulación del ciclo hídrico local. Sin embargo, esta cuenca enfrenta desafíos significativos relacionados con la escorrentía y el control de inundaciones, que pueden tener un impacto negativo en las comunidades circundantes y en la infraestructura existente.

La presente investigación tiene como objetivo principal ****evaluar el comportamiento de la escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo****, utilizando un simulador de lluvia para modelar diferentes escenarios de precipitación. A través de este enfoque, se busca determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía, calcular los valores de caudal asociados a diferentes intensidades de lluvia, y definir las dimensiones adecuadas para una estructura de defensa ribereña que pueda mitigar los riesgos de inundaciones.

El desarrollo de este estudio se justifica en la necesidad de implementar estrategias adecuadas para el manejo de cuencas, que permitan no solo la protección de las comunidades, sino también la conservación de los ecosistemas acuáticos. Además, se reconoce la importancia de integrar el conocimiento científico con las prácticas locales, promoviendo así una gestión participativa que involucre a la comunidad en la toma de decisiones.

Para llevar a cabo este estudio, se ha recurrido a la recopilación de datos históricos de precipitación y caudales, así como a la aplicación de métodos estadísticos para el análisis de la relación entre estas variables. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa para la planificación y diseño de infraestructuras de control de inundaciones, contribuyendo a una gestión más sostenible de los recursos hídricos en la cuenca del río Huacarmayo.

En resumen, esta investigación busca no solo abordar la problemática de la escorrentía y las inundaciones en la cuenca del río Huacarmayo, sino también ofrecer soluciones prácticas y científicas que promuevan la resiliencia de las comunidades ante eventos climáticos adversos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, a nivel global, nacional, regional y local, el agua se ha convertido en una de las principales preocupaciones para los líderes gubernamentales. El constante aumento de la población conlleva una creciente demanda de este recurso indispensable.

Para cumplir con esta demanda, es fundamental mejorar la comprensión de la oferta disponible. Esto implica ajustar los parámetros determinísticos que influyen en esta oferta, lo que requiere un conocimiento detallado y preciso de dichos parámetros en relación con la realidad de una cuenca específica.

El problema de esta investigación radica en la necesidad de comprender y caracterizar la esorrentía en una cuenca específica, en este caso, la cuenca del río Huacarmayo. Dada la importancia de la esorrentía en el ciclo hidrológico y su influencia en diversos aspectos ambientales y socioeconómicos, es fundamental obtener una estimación precisa de este fenómeno.

Con la asistencia del simulador portátil, este estudio se orientó hacia la evaluación de las particularidades de una cuenca. Se eligió la cuenca del Río Huacarmayo con el fin de calcular su esorrentía superficial promedio.

Sin embargo, la medición directa de la esorrentía puede resultar compleja y costosa, especialmente en áreas extensas como una cuenca hidrográfica. Por lo tanto, se plantea la aplicación de un simulador de lluvia como una herramienta alternativa para estimar la esorrentía de manera más eficiente y precisa.

El problema principal radica en la identificación y comprensión de los factores que influyen en la generación de esorrentía en la cuenca del río Huacarmayo, así como en la validación y calibración adecuadas del simulador de lluvia para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Además, se deben abordar posibles limitaciones técnicas y metodológicas en el proceso de simulación y análisis de la esorrentía.

En este trabajo de tesis, se presentarán de manera teórica los métodos predominantes para estimar la esorrentía de una cuenca, de los cuales se

aplicará únicamente el método que emplee las características que estamos evaluando con el simulador.

A diferencia de la mayoría de campos de la ingeniería civil, donde se puede ejercer un control preciso sobre los eventos o variables que intervienen en el diseño, en el caso del agua, donde predominan los factores climáticos y locales, es crucial ejercer un control riguroso en el cálculo de los caudales de diseño. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean coherentes con los cálculos y parámetros establecidos previamente, previniendo problemas que podrían afectar significativamente las condiciones futuras requeridas. (Ortiz, 2016)

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo evaluar el comportamiento de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo utilizando un simulador de lluvia, con el fin de diseñar una defensa ribereña de control de cauces?

1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cómo determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo?

¿Cuáles son los valores de caudal con la intensidad de lluvia en la cuenca del río Huacarmayo?

¿Cuáles son las dimensiones de la estructura de defensa ribereña?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo utilizando un simulador de lluvia, con el fin de diseñar una defensa ribereña de control de cauces.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.

Determinar los valores de caudal con la intensidad de lluvia en la cuenca del río Huacarmayo.

Determinar las dimensiones de la estructura de defensa ribereña.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El estudio de la escorrentía en la cuenca del Río Huacarmayo mediante un simulador de lluvia es fundamental para comprender mejor el comportamiento hidrológico de la región, mejorar la gestión del agua y contribuir al desarrollo sostenible

En un contexto de cambio climático, se espera que los patrones de precipitación varíen, lo que puede influir significativamente en la escorrentía de una cuenca. Comprender cómo estas variaciones afectan la escorrentía es esencial para la gestión sostenible del agua.

También para planificar y diseñar infraestructuras hidrológicas y mitigar riesgos de inundaciones, es necesario contar con datos precisos sobre la escorrentía en una cuenca. La aplicación de un simulador de lluvia proporciona una metodología controlada y reproducible para obtener estos datos.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En toda actividad de ingeniería, es fundamental buscar la calidad y eficiencia en los servicios y conocimientos proporcionados. En el caso de la estimación de la escorrentía, esta puede resultar en una reducción de costos a largo plazo para los proyectos de ingeniería relacionados con el uso del agua. Utilizar el coeficiente de escorrentía determinado en el lugar de estudio ofrece una mayor confiabilidad en estas estimaciones. Además, mediante un ajuste y análisis de los datos recopilados, es posible minimizar los errores en la estimación de la escorrentía. Si se requiere más información, se puede reducir el área de estudio para obtener datos más específicos.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La aplicación de un simulador de lluvia para estudiar la escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo se justifica por su relevancia para la gestión de recursos hídricos, la necesidad de datos precisos, la validación de modelos hidrológicos, su impacto en la gestión del agua y su contribución al conocimiento científico

El estudio de la escorrentía mediante la aplicación de un simulador de lluvia en la cuenca del río Huacarmayo puede generar nuevos

conocimientos sobre los procesos hidrológicos en esta región específica. Estos hallazgos pueden ser de interés para la comunidad científica y contribuir al avance del campo de la hidrología.

La escorrentía es un proceso fundamental en la gestión de recursos hídricos y en la planificación de infraestructuras hidráulicas. Entender cómo se genera y se comporta en una cuenca como la del río Huacarmayo es esencial para tomar decisiones informadas sobre su manejo y conservación.

La información recopilada a través del simulador de lluvia puede utilizarse para validar y calibrar modelos hidrológicos. Esto permite mejorar la precisión de las estimaciones de escorrentía y, por lo tanto, la efectividad de las predicciones hidrológicas en la cuenca del río Huacarmayo.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones del estudio de la escorrentía en una cuenca del Río Huacarmayo mediante la aplicación de un simulador de lluvia pueden incluir:

- Limitaciones en la disponibilidad y calidad de los datos hidrometeorológicos y validar el simulador de lluvia y para realizar análisis precisos de escorrentía.
- La variabilidad climática puede afectar la replicabilidad de los resultados del simulador de lluvia, especialmente si no se pueden realizar pruebas en diversas condiciones climáticas.
- La presencia de interferencias externas, como cambios en el uso del suelo, actividades humanas o eventos naturales, pueden afectar la interpretación de los resultados y la generalización de los hallazgos.

Restricciones en el tiempo y el presupuesto (que será por cuenta propia del tesista) pueden limitar la extensión y profundidad del estudio, así como la capacidad para realizar múltiples mediciones y análisis detallados.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 VIABILIDAD OPERATIVA

Esto implica evaluar si se dispone del equipo necesario, incluido el simulador de lluvia portátil, así como los recursos humanos capacitados para llevar a cabo las mediciones y análisis correspondientes. También

se deben considerar aspectos logísticos, como el acceso al área de estudio y la disponibilidad de tiempo y presupuesto para realizar el proyecto. Además, se debe evaluar la idoneidad del simulador de lluvia para reproducir las condiciones climáticas necesarias para obtener datos precisos sobre la escorrentía en la cuenca del Río Huacarmayo. En resumen, la viabilidad operativa implica asegurarse de que se cuenten con los medios y condiciones adecuados para llevar a cabo el estudio de manera efectiva.

1.7.2 VIABILIDAD TÉCNICA

La viabilidad técnica de un estudio de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo mediante la aplicación de un simulador de lluvia se fundamenta en la disponibilidad y la adecuación de los recursos y técnicas necesarios para llevar a cabo la investigación. Esto implica asegurar que se cuente con el equipo adecuado, incluido el simulador de lluvia portátil, así como el acceso a los sitios de estudio en la cuenca del río Huacarmayo. Además, se debe considerar la capacitación y experiencia del personal encargado de realizar las mediciones y el análisis de datos. La viabilidad técnica también está vinculada a la posibilidad de obtener resultados precisos y confiables que contribuyan al objetivo del estudio.

1.7.3 VIABILIDAD ECONÓMICA – SOCIAL

La evaluación económica de un estudio sobre la escorrentía en una cuenca del Río Huacarmayo utilizando un simulador de lluvia es crucial para determinar su viabilidad. Este análisis implica considerar los costos asociados con la adquisición y operación del equipo de simulación, así como los gastos relacionados con la recolección de datos, análisis, y la elaboración de informes (todo financiado por el tesista). Además, se deben evaluar los posibles beneficios derivados de los resultados del estudio, como la mejora en la gestión del agua, la reducción de riesgos hidrológicos y la optimización de proyectos de ingeniería. La viabilidad económica dependerá de si los beneficios potenciales superan los costos involucrados en el desarrollo y ejecución del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Narváez (2023), en su estudio denominado *“Determinación de escorrentía superficial y calidad de agua en la cuenca de abastecimiento de la parroquia de Aloasí”*, para obtener el título de ingeniero civil de la universidad politécnica salense en Ecuador. Esta investigación se llevó a cabo en la cuenca del Río Negro, ubicada en la parroquia de Aloasí, cantón Mejía, en la provincia de Pichincha. El diseño experimental incluyó la presentación de parámetros generales de la cuenca como oxígeno disuelto, pH, temperatura, turbidez, DBO₅, DQO, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos y coliformes fecales. También se identificaron los índices de calidad del agua en las zonas alta, media y baja de la cuenca del Río Negro. Además, se realizó un estudio socioeconómico mediante encuestas, que revelaron que las comunidades de los barrios Umbría y San Roque carecen de conocimientos sobre la gestión del agua en el sector, según las respuestas obtenidas. Para el análisis de la calidad del agua, se consideraron varios parámetros físicos, químicos y biológicos, resultando en un rango de índice de calidad de agua de 74,4 a 75,93 unidades, lo que indica una buena calidad de agua para esta parroquia. Utilizando el programa ArcGIS 10.5, se calcularon el área, perímetro, longitud de la cuenca, longitud del cauce principal, longitud y ancho de la cuenca, altura máxima, altura mínima y desnivel altitudinal. Se generó un modelo para la gestión del drenaje de aguas. Los parámetros de forma, de relieve y la curva hipsométrica mostraron que esta cuenca se encuentra en una etapa intermedia, en la fase de equilibrio entre la madurez y la juventud. Los parámetros de la red de drenaje indicaron que la red hídrica de la cuenca es de orden tres, con una densidad de drenaje de 0,32 km/km². De acuerdo con los cálculos, la magnitud de la escorrentía superficial en la cuenca es de 618,09 mm por año, debido a un coeficiente de escorrentía de aproximadamente 0,5 mm, lo que representa una tasa de retención de agua media para esta cuenca.

Zaragoza (2021), en su estudio denominado, *“Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociación con las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla”*, para obtener del título de magister en Ciencias De La Tierra Con Orientacion En Geociencias Ambientales, que le fue otorgada por el Centro De Investigacion Cientifica Y De Educacion Superior De Ensenada, Baja California en Mexico. Tuvo como objetivo principal de examinar las modificaciones en la vegetación y la degradación del suelo debido a la erosión hídrica en un área de investigación geotérmica, identificando las áreas más susceptibles a la erosión, mediante la comparación de dos microcuencas hidrográficas. Este estudio tuvo como finalidad la perserveracion del ecossitema con los recursos naturales del miso mediante un analizis de cobertura y con la tasa de erocion hidrica para la cual se empleo un simulador de lluvia para mostrars la escala y las condiciones que se podria mostrar en dicha microcuenca. El analisis se empleo median el uso de satelites y obteniendo imagenas para la cual se llevo a cuantificar la perdida de suelo por la erosion hidrica y mediante el uso de formulas se obtuvo el modelo digital de elevacion, teniendo en cuenta tambien que mediante las intensidades de lluvia dadas para ciertos periodos de lluvia como de 3 o 6 horas, se tuvo un caudal bajo siendo una precipitacion de 100mm/h , de la misma forma se obtuvo el volumen de escurrimeinto de la microcuenca mostrando una correlacion mayor a 80. Este estudio nos ayudo para las bases teoricas y empleos de un simulador de lluvia en la cual mediante satelites o CONAGUA se logro optener los datos necesarios de las estaciones climatologicas para el estudio de la erosion en el suelo mediate las lluvias usan un simulador de escorrientia. Para Cuello (2020), en su investigación titulada *“Aplicación de programa para modelación de lluvia-escorrentía en la cuenca del Rio Cabrera, departamento del Huila”*, para el Título de Especialista en recursos hídricos, en la universidad católica de Colombia. se enfocó en la implementación de un modelo hidrológico que sirva para cuantificar la cantidad que puede abastecerse de agua para comunidades del sector de estudio. Tuvo como metodológica la delimitación de la cuenca como parte inicial en la cual mediante una elevación digital y mediante el uso del programa ArcGIS se realizó la delimitación, para que después se enfocara

en la recopilación de la información mediante las estaciones cercanas o mapas que se puedan emplear en ese estudio como los mapas de suelo, de cobertura de la tierra. Luego se procedió con la regionalización de la variable que se tiene en interés siendo ella la elección del programa HEC-HMS para que así se puede modelar obtener unos resultados óptimos, pero previamente se tiene que calibrar los datos que se obtuvieron de las estaciones para que luego se pueda emplear en el HEC-HMS. Luego se obtuvieron las siguientes conclusiones: Tras la investigación llevado a cabo, se pudo determinar que la subcuenca más prometedora en términos de disponibilidad de agua en la región fue la Cuenca Media, tanto en cuanto a la cantidad de agua producida como a la extensión de áreas con escorrentía significativa. Es importante considerar que todos los elementos (como los puntos de confluencia y los tramos) contribuyen potencialmente al resultado global. Se observó una correlación entre los niveles de precipitación modelados, los tipos y usos del suelo, así como la escorrentía resultante, la cual está condicionada por estos factores geológicos, representados crucialmente por la curva número.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Sarmiento (2024), en su estudio *“Análisis Comparativo De Modelos Hidrológicos Precipitación Y Escorrentía Bajo Diferentes Esquemas De Discretización Aplicados A La Cuenca Del Río Coata”* para la obtención de ingeniero agrícola en la universidad Nacional del Altiplano. El objetivo de esta investigación fue describir y analizar modelos hidrológicos de precipitación y escorrentía aplicados a la cuenca del río Coata, empleando distintos esquemas de discretización. Se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, relacional, no experimental y prospectivo, con el fin de explorar la relación entre la precipitación y la escorrentía en la cuenca del río Coata. La muestra incluyó áreas geográficas dentro de la cuenca que contaban con datos de precipitación fiables y representativos. Para la recolección de datos, se empleó tecnología satelital, específicamente el satélite ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), y el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool). El procedimiento incluyó la recopilación de datos climáticos históricos, la

delimitación precisa de la cuenca, la selección y calibración de modelos hidrológicos, y el procesamiento de los datos en Microsoft Excel y el software estadístico SPSS versión 23. Para evaluar la correlación entre las variables, se utilizó el coeficiente de correlación múltiple como prueba estadística. Los resultados mostraron una relación entre la precipitación y la escorrentía en la cuenca del río Coata entre 2000 y 2020. En años como 2007 y 2016, con precipitaciones de 1215 mm y 1340 mm, se generaron escorrentías de 295 mm y 321 mm, respectivamente, mientras que, en 2017, con 1150 mm de precipitación, la escorrentía fue de 280 mm, menor en comparación con años similares. Las conclusiones destacan la importancia de considerar esta relación para la gestión sostenible de recursos hídricos y la necesidad de adaptarse ante posibles cambios en el régimen hídrico.

Valer (2021), en su estudio, *“Evaluación de volúmenes de vinaza sobre la erosión hídrica de suelo”*, para optar el título de la profesión en ingeniería Ambiental de la universidad nacional de ingeniería. Esta investigación tuvo como objetivo y finalidad la evaluación de los volúmenes en efecto, mediante la elaboración de sedimentos por medio de la erosión hídrica en un suelo arenoso. Para el desarrollo de la investigación se enfocó de forma *ex situ* en la cual se simuló una tormenta siendo considerada la más crítica, con la metodología de puntos de muestreo mediante un simulador de lluvia, el estudio tuvo como diseño experimental y nivel descriptivo, la cual se empleó un diseño trifactorial en parte combinada. Después de emplearla se obtuvieron las siguientes conclusiones: El tiempo de precipitación y la inclinación del terreno no mostraron un efecto significativo. Se observó que las dosis de vinaza actuaron como un agente atenuante de la erosión del suelo, reduciendo considerablemente su pérdida por erosión hídrica. Además, se examinaron parámetros físico-químicos tanto de la escorrentía como del suelo, como el pH y la conductividad eléctrica. Respecto al pH de la escorrentía, se detectó una leve disminución con las dosis de vinaza, de 0.28 unidades con 2.5 l/m² y de 0.18 con 5.0 l/m². Este antecedente sirve como base teórica y como base en el desarrollo del simulador de lluvia a

pesar que se empleo para la determinacion de la erocion hidrica, la funcionabilidad es la msima.

Para Pimentel (2021) en su estudio, *“Estudio de la erosión y pérdida de suelos empleando un simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape - Chiclayo”* para optar el título de la profesión en ingeniería civil de la universidad Señor de Sipán. Esta investigación tiene como objetivo el estudio de la perdida de suelos como la erosión mediante el uso de un simulador de lluvias, teniendo como tipo de investigación una experimental mediante los cálculos de erosión y que para cumplir con lo planteado se manipula las variables. Donde la finalidad es la construcción de un simulador de lluvia y con ella caracterizar la lluvia y conocer la intensidad alta que se pueda obtener, después de calcular la intensidad necesaria se continuo con las diferentes precipitaciones que se dan para cada periodo de tiempo mediante el simulador de lluvias y por último se realiza una evaluación de las intensidades de la misma para así evaluar la erosión y perdida que se pueda encontrar. Después realizado todo ese proceso se obtuvo las siguientes conclusiones: Se pudo observar el comportamiento hidrológico en los sitios de prueba durante los ensayos realizados. En las áreas sin vegetación, al inicio de la lluvia artificial, se notaba cómo el caudal alcanzaba su punto máximo rápidamente y la escorrentía se formaba con rapidez. Este caudal máximo se mantenía constante hasta que el evento hidrológico terminaba, momento en el cual el caudal disminuía de manera inmediata hasta fluir con menos intensidad. Por otro lado, en los ensayos donde había vegetación, la escorrentía se generaba algunos minutos después en comparación con las áreas sin vegetación. Esto provocaba que el caudal de escorrentía se mantuviera estable durante unos minutos antes de disminuir gradualmente y detenerse posteriormente. El índice de escorrentía aumenta conforme se incrementa la pendiente del terreno en los taludes donde se llevaron a cabo los ensayos, que variaban entre el 3% y el 25%. Sin embargo, se observó que la presencia de vegetación provocó una ligera disminución en la cantidad de escorrentía. Se evidenció este fenómeno en todos los ensayos llevados a cabo, tanto con cómo sin vegetación, y en terrenos con diversas pendientes, durante la duración del evento hidrológico. Se

puede inferir que la presencia de vegetación en la superficie del suelo reduce la erosión, facilita la retención del agua durante las temporadas de lluvia y contribuye al control del flujo durante períodos de sequía.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

No se encontró más estudios dentro de los últimos cinco años enfocados al estudio de escorrentía con área de estudio en Huánuco.

Según Garay & Vicente (2021), en su estudio, *“Análisis Hidráulico Para Reducir Riesgos De Inundación Del Río Nupe, En El Centro Poblado De Pilcocancha”*, para optar el título de la profesión en ingeniería civil de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco – Perú. La investigación tuvo como objetivo la determinación del análisis hidráulico para la reducción de los riesgos de inundación del río Nupe, para ello se tuvo una investigación tipo cuantitativo, con un nivel de forma descriptiva y diseño no experimental. Para el desarrollo de la investigación se realizó mediante el uso del flotador para el cálculo del caudal, usando los datos de precipitaciones obtenidas del Senamhi y de la misma forma mediante un nivel se pudo obtener las curvas de nivel, una vez obtenidos los datos de precipitación se procedió a tabular dichos datos y así obtener la prueba de bondad adecuada para el estudio para cada periodo de retorno adecuado, luego se determinó los coeficientes de intensidad, donde la elaboración de IDF fue el principal resultado. Luego con el uso del programa HEC-RAS se procede con el análisis hidráulico fluvial para que así se pueda tener la estimación de la inundación para cada periodo de retorno, obteniendo así las siguientes conclusiones: En periodos de retorno de cien años, existe vulnerabilidad a inundaciones. Se observa que no se dispone de la capacidad hidráulica adecuada para el tramo relevante del río Nupe. Por lo tanto, para gestionar una crecida máxima con un periodo de retorno de cien años sin que ocurra desbordamiento, el proceso de desbordamiento comenzará gradualmente en el punto 1+280. Durante temporadas de avenidas, se ha determinado que un ancho de treinta metros es óptimo para el flujo del agua.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CUENCA

2.2.1.1 OPERACIÓN DE LAS CUENCAS.

En el planeta, las cuencas actúan como vastos receptáculos que capturan el agua de lluvia. Desde aquí, el agua regresa al océano, se evapora hacia la atmósfera o se retiene temporalmente en suelos y acuíferos.

La precipitación que llega a la cuenca tiene tres posibles caminos para retornar al mar o a la atmósfera:

Evaporación.

infiltración.

Puede fluir por la superficie, dependiendo de la topografía y las pendientes.

Los suelos en las cuencas hidrográficas actúan de manera similar a una esponja, absorbiendo una gran cantidad de agua de lluvia en poco tiempo y liberándola gradualmente. Esta función ayuda a mantener los ríos y arroyos con agua incluso durante períodos secos. (Aliaga, 1983)

2.2.1.2 CUENCA HIDROGRÁFICA.

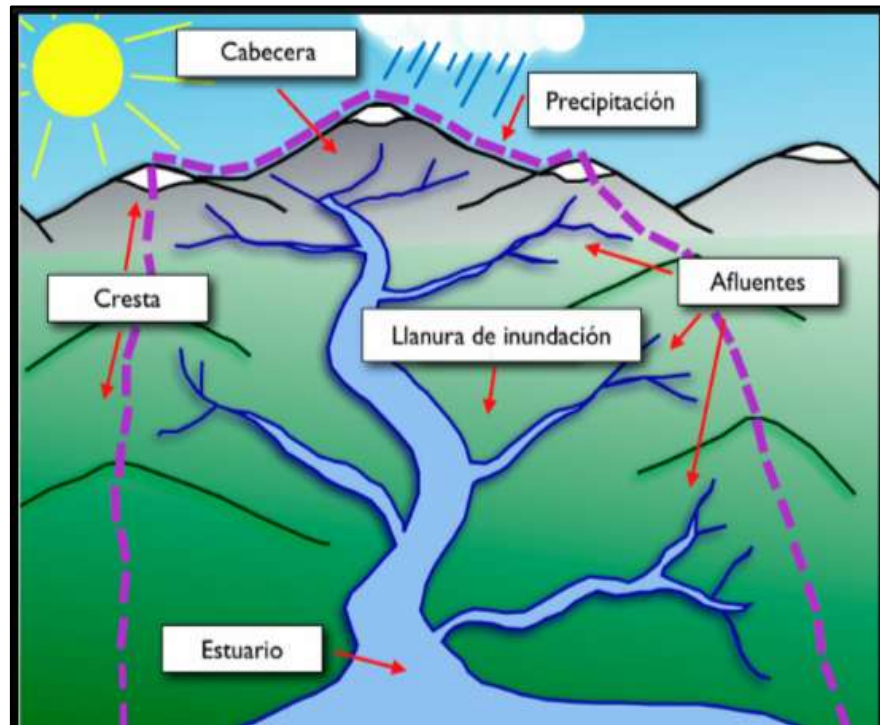
Una cuenca hidrográfica se define por la línea de las crestas, también conocida como divisoria de aguas. Administrativamente, se regulan los recursos naturales dividiendo el territorio en cuencas hidrográficas.

En perspectiva, las cuencas hidrográficas se presentan como unidades de división funcional más coherentes, permitiendo una integración social y territorial más efectiva a través del agua.

La diferencia entre una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica radica en que la primera se refiere únicamente a las aguas superficiales, mientras que la segunda incluye tanto las aguas superficiales como las subterráneas. (Delgadillo, 2010)

Figura 1

Cuenca



Nota. (Delgadillo, 2010)

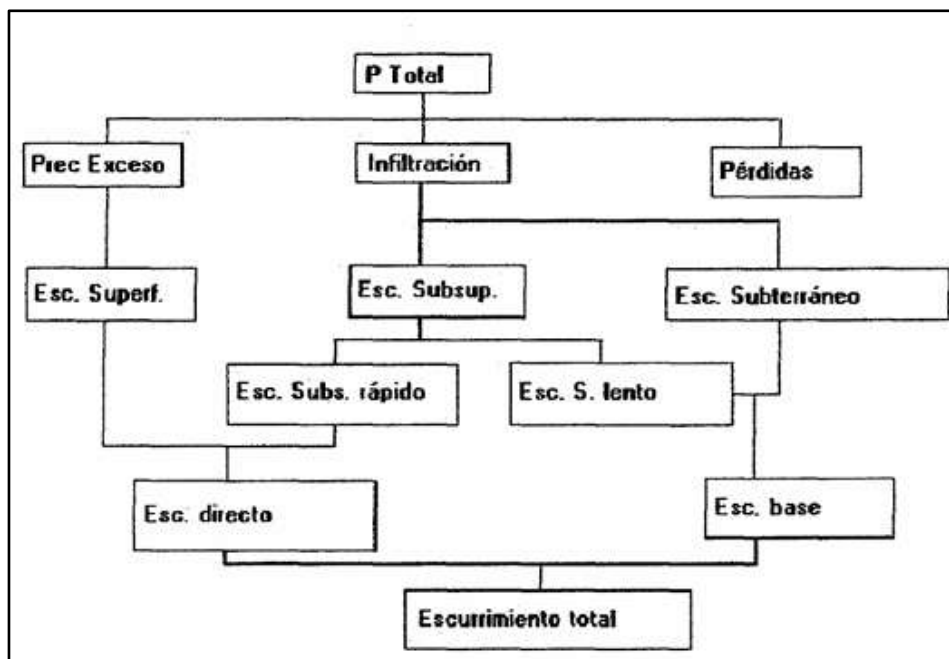
2.2.2 HÍDRICO BALANCE

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca implica realizar una estimación precisa del balance hidrológico, es decir, entender el ciclo en sus distintas etapas, incluyendo cómo el agua que llega por precipitación se distribuye entre los procesos de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión básica, aunque calcular sus términos suele ser complicado debido a la escasez de datos directos y a la variabilidad espacial de la evapotranspiración, las pérdidas subterráneas (en acuíferos) y los cambios en el almacenamiento de agua en la cuenca. (CENEPRED, 2014)

Figura 2

Hídrico Balance Esquema



Nota. (Rogers, 2012)

2.2.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación se refiere a la cantidad de agua que llega a la superficie terrestre desde la humedad atmosférica, ya sea en forma líquida (lluvia o llovizna) o sólida (nieve, escarcha, granizo). Es un fenómeno meteorológico fundamental para la hidrología, ya que, junto con la evaporación, es la principal forma en que la atmósfera intercambia agua con las fuentes superficiales en el ciclo hidrológico.

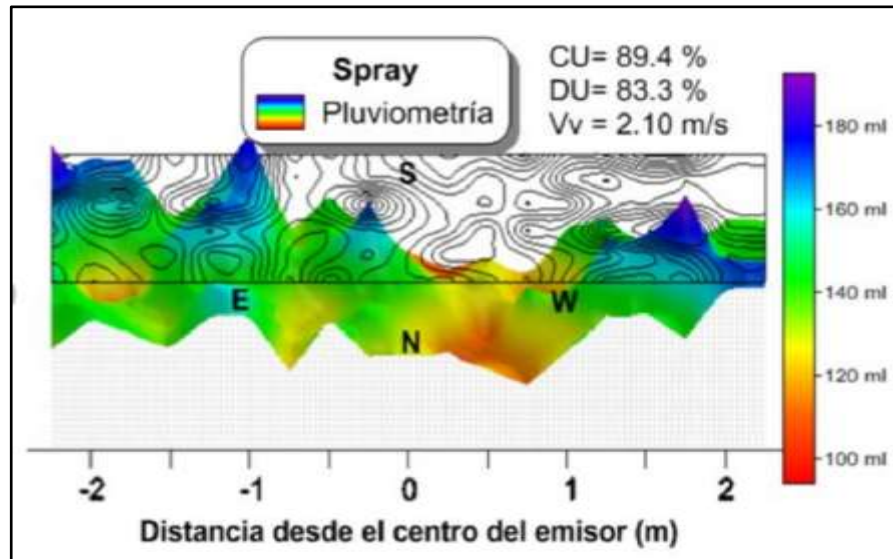
2.2.3.1 PLUVIOMETRÍA:

En términos prácticos, el objetivo es calcular la cantidad de lluvia que efectivamente alcanza la superficie terrestre.

Para hacerlo, se emplea una regla graduada en milímetros para medir la altura que alcanzaría una lámina de agua en el suelo si no se filtrara ni escurriera. En el Perú, la cantidad de lluvia se monitorea a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), que cuenta con una red de estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país.

Figura 3

Pluviometría



Nota. (Lopez, 2010)

2.2.3.2 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Se refiere al flujo de agua que se desplaza sobre la superficie del suelo en lugar de infiltrarse en él. Es el resultado del exceso de agua que no puede ser absorbido por el suelo debido a su saturación, impermeabilidad o a la intensidad de la precipitación.

Esta agua fluye sobre la superficie del terreno, siguiendo la pendiente del terreno, y puede terminar en cuerpos de agua como arroyos, ríos, lagos o embalses, contribuyendo así al escurrimiento superficial. (Fernández, Luque, & Paoloni, 1971)

La escorrentía superficial puede originarse tanto por la lluvia como por el derretimiento de nieve o glaciares.

El derretimiento de nieve y glaciares ocurre exclusivamente en zonas lo suficientemente frías como para mantener su presencia de forma permanente.

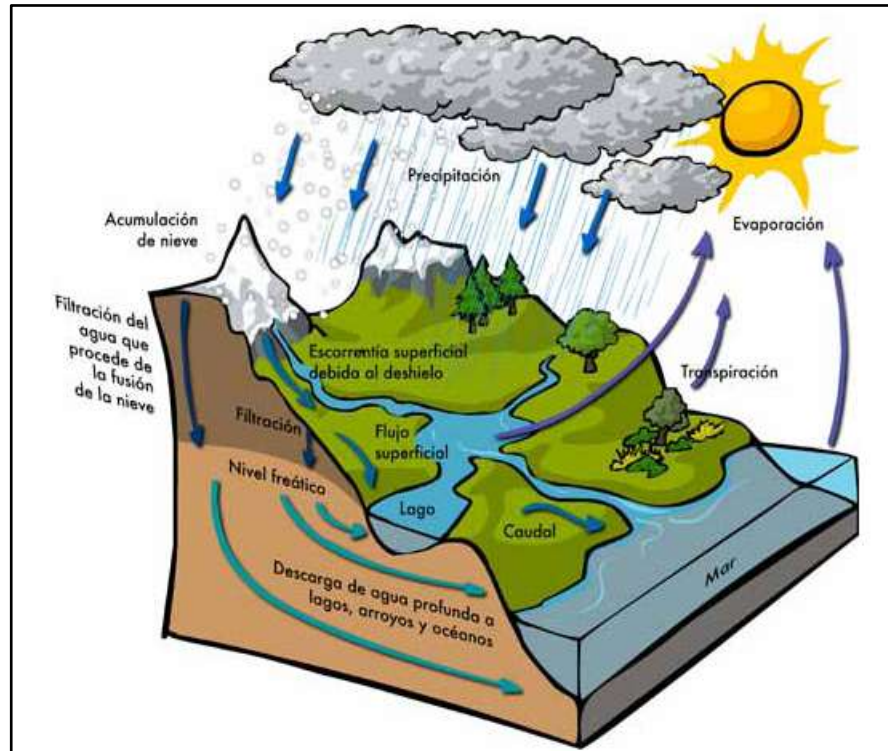
La escorrentía generada por la nieve suele alcanzar su nivel máximo en primavera, mientras que los glaciares se derriten durante el verano, lo que resulta en picos de flujo significativos en los ríos afectados por los mismos.

La velocidad de fusión de la nieve o los glaciares está principalmente determinada por la temperatura del aire y la

cantidad de luz solar que reciben. En áreas montañosas, los caudales tienden a aumentar en días soleados y a disminuir en días nublados debido a este fenómeno.

Figura 4

Escorrentía Subterránea



Nota. (Clima, 2024)

2.2.3.1 FLUJO TERRESTRE CON EXCESO DE INFILTRACIÓN

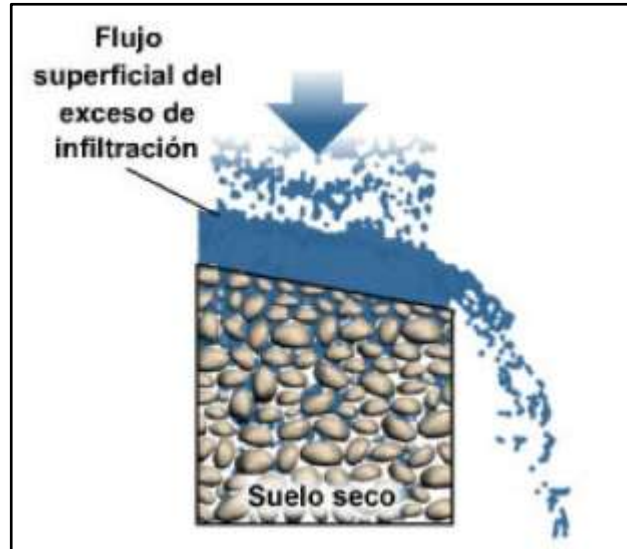
El flujo terrestre con exceso de infiltración se refiere al movimiento del agua en la superficie terrestre que ocurre cuando la capacidad de infiltración del suelo es superada por la cantidad de agua disponible. En otras palabras, cuando llueve o se produce un exceso de agua en la superficie del suelo, parte de esta agua se infiltra en el suelo, mientras que el exceso que no puede infiltrarse se convierte en flujo superficial.

Este flujo superficial puede dar lugar a la escorrentía superficial, que es el movimiento del agua sobre la superficie del suelo hacia áreas más bajas, como arroyos, ríos o cuerpos de agua. El flujo terrestre con exceso de infiltración es un fenómeno común durante eventos de lluvia intensa o

prolongada, y puede tener importantes implicaciones en la hidrología y en la gestión de recursos hídricos. (Moreno, 2002)

Figura 5

Flujo Superficial



Nota. (Meted, 2024)

2.2.3.1 FLUJO TERRESTRE CON EXCESO DE SATURACIÓN

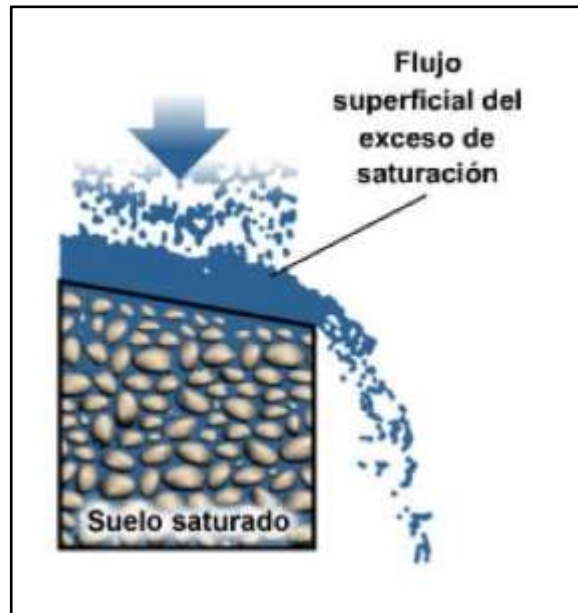
El flujo terrestre con exceso de saturación se produce cuando el suelo está completamente saturado de agua y no puede retener más líquido, lo que resulta en el movimiento del agua sobre la superficie del suelo en forma de escorrentía superficial.

Este fenómeno ocurre comúnmente durante periodos de lluvia intensa o prolongada, cuando la capacidad de infiltración del suelo se ve superada por la tasa de precipitación, o en áreas con suelos de baja permeabilidad que no permiten una rápida absorción del agua.

El flujo terrestre con exceso de saturación puede provocar inundaciones, erosión del suelo y cambios en la calidad del agua, y es un aspecto importante a considerar en la gestión de recursos hídricos y la planificación del uso del suelo. (Becerra, 1999)

Figura 6

Flujo Terrestre



Nota. (Meted, 2024)

2.2.4 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

2.2.4.1 RACIONAL

Este enfoque resulta altamente adecuado en situaciones donde los datos disponibles sobre la región en estudio, que abarca una superficie de hasta 10000 hectáreas, no son muy detallados.

Además, su eficacia está estrechamente relacionada con la precisión de los valores utilizados para el coeficiente de escorrentía (C) y el tiempo de concentración durante los cálculos.

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

2.2.4.2 COOK

El Método Cook es una técnica estadística utilizada en el análisis de datos, especialmente en el campo de la regresión, para detectar puntos de datos atípicos o influencia excesiva en un modelo estadístico.

Este método calcula la distancia de Cook para cada observación en un conjunto de datos y evalúa si alguna de ellas tiene un impacto desproporcionado en los resultados del

análisis. Es una herramienta útil para identificar puntos de datos que podrían estar sesgando los resultados del modelo o que podrían ser considerados como valores atípicos.

2.2.5 INFILTRACIÓN

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo desde la superficie. Es una parte crucial del ciclo hidrológico, ya que regula la cantidad de agua que se almacena en el suelo, recarga los acuíferos subterráneos y contribuye a la alimentación de los cursos de agua.

La infiltración puede ocurrir de diversas formas, como la absorción directa por el suelo debido a su porosidad y permeabilidad, o a través de grietas y fisuras en el sustrato. Es un proceso fundamental para la recarga de los recursos hídricos subterráneos y la sustentabilidad de los ecosistemas terrestres

Figura 7

Infiltración



Nota. (Didasko, 2021)

2.2.5.1 FACTORES QUE LO AFECTAN

Cobertura del suelo: se refiere a la capa vegetal y no vegetal que recubre la superficie terrestre. Incluye todos los elementos que se encuentran sobre el suelo, como la vegetación, la hojarasca, la roca desnuda, el agua y la nieve.

La cobertura del suelo puede variar ampliamente según la ubicación geográfica, el clima, la topografía y las actividades humanas. Esta cobertura juega un papel crucial en la regulación del ciclo hidrológico, la erosión del suelo, la biodiversidad y otros procesos ambientales.

Pendiente del terreno: se refiere a la inclinación o la declinación de la superficie terrestre en una determinada área. Es una medida de la variación vertical de la elevación del terreno con respecto a la distancia horizontal recorrida.

La pendiente del suelo puede variar desde terrenos planos hasta pendientes pronunciadas, y juega un papel importante en diversos procesos naturales y actividades humanas, como la hidrología, la erosión del suelo, la agricultura, la construcción de carreteras y la planificación urbana.

Una mayor pendiente del suelo generalmente aumenta la velocidad de escurrimiento superficial y la erosión, mientras que las pendientes más suaves tienden a retener más agua y suelo.

Composición del suelo: tiene un impacto directo en su capacidad de absorber agua, que está relacionada con el tamaño de los poros. Además, esta composición afecta indirectamente a través de la estabilidad de los agregados del suelo.

Por ejemplo, altas concentraciones de limo y arena fina pueden resultar en agregados poco estables, lo que lleva a la ruptura de los mismos y al bloqueo de los poros y grietas del suelo.

2.2.5.2 TIPO DE SUELO

Arenoso: Compuesto principalmente por partículas de arena, tiene una textura gruesa y porosa que permite un buen drenaje del agua.

Figura 8

Suelo Arenoso



Nota. (Gruposacsa, 2015)

Limoso: Contiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, lo que le otorga una textura suave y una buena capacidad de retención de agua.

Figura 9

Suelo Limoso



Nota. (Pineda, 2024)

Limo – arcilloso: Este tipo de suelo se forma a partir de una combinación de suelo limoso y suelo arcilloso, con una proporción que oscila entre el 40% y el 60% de cada uno de

estos componentes. Este suelo tiene una capacidad de filtración relativamente rápida para el agua.

2.2.6 ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

Por medio del método directo se tiene:

Los lisímetros son instrumentos utilizados para medir la cantidad de agua que se infiltra en el suelo o que se evapora desde la superficie del suelo.

Consisten en una caja o contenedor enterrado en el suelo y equipado con sensores para medir el nivel de agua dentro de él. Esto permite monitorear con precisión los procesos de infiltración y evaporación en el suelo, lo que es útil para estudios hidrológicos y agrícolas.

Simuladores de lluvia: Se simula la precipitación de manera constante, imitando fielmente las condiciones de la lluvia, con gotas de tamaño similar y una energía de impacto comparable para comparar sus efectos.

Estos instrumentos varían en tamaño, requerimientos de agua y método de medición, con áreas de lluvia que van desde 0.1 m² hasta 40 m². La diferencia entre la precipitación aplicada y la escorrentía observada refleja el volumen infiltrado.

Los simuladores de lluvia ofrecen beneficios en la investigación al permitir una simulación más rápida, eficiente y controlada en comparación con los estudios que dependen de la lluvia natural. Sin embargo, también conllevan desafíos, como la inversión de tiempo y recursos necesarios para su construcción, diseño y gestión durante las pruebas.

2.2.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración se refiere a la pérdida de agua desde la superficie del suelo y las plantas hacia la atmósfera. Este proceso incluye tanto la evaporación directa desde la superficie del suelo y cuerpos de agua como la transpiración de las plantas a través de sus hojas.

Juntas, estas dos formas de pérdida de agua constituyen la evapotranspiración, un proceso que contribuye significativamente al ciclo del agua y a la distribución global de la humedad atmosférica.

La importancia de la evapotranspiración radica en varios aspectos clave. En primer lugar, regula el balance de humedad en la atmósfera, influyendo en la formación de nubes y la distribución de las precipitaciones.

Además, este proceso es crucial para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que regula la disponibilidad de agua para las plantas y otros organismos. La evapotranspiración también desempeña un papel importante en la regulación de la temperatura del suelo y del aire, contribuyendo así a la estabilidad climática.

En términos hidrológicos, la evapotranspiración afecta directamente a la disponibilidad de agua en los suelos y cuerpos de agua, así como a la recarga de los acuíferos subterráneos.

En regiones áridas y semiáridas, donde la evaporación es alta y las precipitaciones son escasas, la evapotranspiración puede superar significativamente la cantidad de agua disponible, lo que puede llevar a sequías y escasez de agua.

Por otro lado, en regiones con altas tasas de evapotranspiración, como los trópicos, el exceso de humedad en la atmósfera puede contribuir a la formación de tormentas y ciclones tropicales.

La medición y estimación precisa de la evapotranspiración son fundamentales para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la predicción de eventos climáticos extremos.

Los científicos utilizan una variedad de métodos y modelos para cuantificar la evapotranspiración a diferentes escalas, desde mediciones directas en el campo hasta el uso de imágenes satelitales y modelos computacionales.

2.2.8 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía es un concepto fundamental en la hidrología que desempeña un papel crucial en la comprensión y gestión de los recursos hídricos. Este coeficiente, representado por la letra C , se refiere a la fracción de agua de lluvia que, en lugar de infiltrarse en el suelo, fluye sobre la superficie terrestre formando escorrentía superficial.

El coeficiente de escorrentía proporciona una medida cuantitativa de la proporción de agua de lluvia que contribuye a este proceso, lo que

permite a los hidrólogos y gestores del agua entender mejor cómo se distribuye el agua en una determinada cuenca hidrográfica.

El cálculo del coeficiente de escorrentía implica considerar una variedad de factores que influyen en la cantidad de agua que se convierte en escorrentía superficial.

Estos factores incluyen la textura del suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno, la intensidad de la precipitación y las características geomorfológicas de la cuenca.

Se utilizan diversas metodologías para estimar el coeficiente de escorrentía, desde enfoques empíricos basados en observaciones de campo hasta modelos hidrológicos más complejos que tienen en cuenta múltiples variables.

La importancia del coeficiente de escorrentía radica en su papel en la predicción de inundaciones, la gestión de recursos hídricos y la planificación del uso del suelo.

Un coeficiente de escorrentía alto indica una mayor probabilidad de inundaciones y erosión del suelo, lo que puede tener graves consecuencias para la infraestructura, la agricultura y el medio ambiente.

Por otro lado, un coeficiente de escorrentía bajo sugiere una mayor capacidad de retención de agua en el suelo, lo que puede beneficiar la recarga de acuíferos y la conservación de los recursos hídricos.

2.2.9 CAUDAL DE SALIDA

El caudal de salida en una cuenca hidrográfica es una variable fundamental en la hidrología y el manejo de recursos hídricos. Este caudal es la cantidad de agua que fluye a través de un punto específico del río o arroyo, normalmente expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

La determinación y el análisis del caudal de salida son cruciales para entender el comportamiento hidrológico de una cuenca, diseñar infraestructuras hidráulicas, y gestionar riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos extremos como inundaciones. (Maidment, 1993)

2.2.9.1 FACTORES QUE AFECTAN EL CAUDAL DE SALIDA

A) PRECIPITACIÓN:

La precipitación es el principal factor que afecta el caudal de salida. La relación entre la cantidad de lluvia caída y el caudal resultante depende de la intensidad, duración, y distribución espacial de las precipitaciones. Estudios han demostrado que existe una correlación directa entre la precipitación y el caudal en ríos y arroyos.

2.2.9.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA:

Topografía: La pendiente del terreno afecta la velocidad del escurrimiento superficial. Cuencas con pendientes pronunciadas tienden a tener respuestas hidrológicas más rápidas y mayores picos de caudal.

Uso del Suelo y Cobertura Vegetal: Áreas urbanizadas con superficies impermeables (como carreteras y edificios) generan mayor escorrentía superficial comparadas con áreas forestadas, que facilitan la infiltración del agua en el suelo.

Tipo de Suelo: La capacidad de infiltración del suelo influye en la cantidad de escorrentía superficial versus el agua que se infiltra y recarga los acuíferos.

Infraestructura Hidráulica: La presencia de presas, canales y otras infraestructuras puede modificar el caudal de salida natural de una cuenca. Estas estructuras pueden regular los flujos, almacenando agua durante períodos de exceso y liberándola durante períodos secos.

2.2.9.3 METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL

Aforadores: Dispositivos diseñados para medir el caudal de un curso de agua a través de la relación entre el nivel del agua y el caudal. Ejemplos incluyen vertederos y flumes.

Método del Diluyente: Consiste en añadir un trazador (sustancia diluyente) al flujo de agua y medir su concentración aguas abajo para calcular el caudal.

Sensores de Caudal Ultrasónicos: Utilizan ondas ultrasónicas para medir la velocidad del agua y calcular el caudal en tiempo real. Son útiles para obtener datos continuos y precisos en tiempo real.

Aplicaciones del Análisis del Caudal de Salida: El análisis del caudal de salida tiene múltiples aplicaciones prácticas, incluyendo:

Diseño de Infraestructuras Hidráulicas: Las estructuras como presas, alcantarillas, y defensas ribereñas deben ser diseñadas considerando los picos de caudal y las variaciones estacionales para garantizar su eficacia y durabilidad.

Manejo de Inundaciones: Predecir los caudales máximos permite desarrollar planes de manejo de inundaciones y sistemas de alerta temprana para minimizar los daños en zonas vulnerables.

Conservación del Agua: Entender la dinámica del caudal ayuda en la gestión sostenible de los recursos hídricos, asegurando un suministro adecuado para el riego, consumo humano, y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos.

El caudal de salida en una cuenca hidrográfica es un indicador clave del comportamiento hidrológico de la región. Su análisis y modelación son esenciales para el diseño de infraestructuras hidráulicas, la gestión de riesgos asociados a eventos extremos, y la conservación de los recursos hídricos.

Utilizando modelos hidrológicos avanzados y técnicas de medición precisas, es posible predecir y manejar eficazmente los flujos de agua en la cuenca del río Huacarmayo.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Ciclo: es el proceso natural mediante el cual el agua se mueve constantemente a través de la Tierra en diversas formas, como líquido, vapor o hielo. (Perez & Senemt, 2017)

Evaporación: Es un fenómeno físico en el que un líquido pasa gradualmente a su estado gaseoso al adquirir la energía necesaria para superar la tensión superficial. (Fernández & Montt, 2001)

Hidráulica: es la rama de la ingeniería que se encarga del estudio de los fluidos en movimiento y de los sistemas que utilizan líquidos para transmitir fuerza o realizar trabajos. (Sotomayor, 2019)

Lluvia: se produce cuando gotas de agua líquida caen desde una nube hasta la superficie terrestre. La caracterización de este fenómeno se basa en el tamaño y la distribución de las gotas, lo que lo distingue de otros eventos similares. En términos generales, se considera que llueve cuando las gotas de agua líquida tienen un diámetro superior a los 0.5 mm y están distribuidas de manera relativamente homogénea. (Lux, 2016)

Vegetación: Se refiere a la vegetación natural o cultivada que se desarrolla de manera espontánea sobre la superficie del suelo o en entornos acuáticos. (MTC, 2011)

Vertedero: es una estructura diseñada para controlar el flujo de agua en un canal o canalización. Se utiliza para regular el nivel del agua y prevenir inundaciones al liberar el exceso de agua cuando el nivel del agua en el canal supera cierto umbral. (Chow, Maidment, & Mays, 1994, pág. 140)

2.4 HIPÓTESIS

Hipótesis General

HG: Si al calcular el caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo mediante un simulador de precipitaciones, se espera que la cantidad de precipitación registrada tenga una correlación directa con el caudal resultante en la cuenca.

Hipótesis Nula (H_0): No existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_1): Existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Específicas

HE₁: Si se analiza la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía generada en la cuenca del río Huacarmayo, se espera encontrar una correlación directa y significativa entre ambas variables.

Hipótesis Nula (H_{01}): No existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{11}): Existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.

HE_2 : Si se compara la intensidad de la lluvia con el caudal obtenido en la cuenca del río Huacarmayo, se espera que ambas variables mantengan una correlación positiva, indicando que, a mayor intensidad de precipitación, mayor será el caudal del río.

Hipótesis Nula (H_{02}): No existe una correlación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{12}): Existe una correlación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

HE_3 : Si se relacionan los caudales máximos obtenidos para distintos periodos de retorno con las dimensiones de la estructura de defensa ribereña, se espera que el tamaño de la obra dependa directamente del caudal máximo proyectado.

Hipótesis Nula (H_{03}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña no dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{13}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Huacarmayo.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo.

2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Cantidad de precipitación registrada.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Cantidad de precipitación registrada.	La cantidad de precipitación registrada se refiere a la medida de la cantidad de lluvia que cae sobre la cuenca del río Huacarmayo en un período de tiempo específico	Tiempo	Duración
			Intensidad temporal
			Frecuencia
		Intensidad de la precipitación	Intensidad máxima
			Duración de la intensidad máxima
			Variabilidad temporal
			Área hidráulica
Variable dependiente: Caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo.	El caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo representa el volumen de agua que fluye fuera de la cuenca en un momento dado, influenciado por diversos factores, incluida la cantidad de precipitación	Volumen de agua	Radio hidráulico
			Tipo de suelo
			Pendiente
			Precipitación
		Tiempo	Periodo de retorno
			Recurrencia
			Duración
			Intensidad temporal
			Frecuencia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 ENFOQUE

El enfoque cuantitativo se elige en esta investigación debido a su capacidad para proporcionar mediciones numéricas y datos estadísticos que permiten una comprensión precisa y objetiva de las relaciones entre las variables involucradas en el estudio. Al optar por un enfoque cuantitativo, se busca analizar y cuantificar la relación entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo, lo que permite establecer patrones, tendencias y correlaciones numéricas entre estas variables. Este enfoque proporciona una base sólida para la recolección, el análisis y la interpretación de datos, lo que facilita la formulación de conclusiones.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El alcance explicativo y descriptivo se elige para esta investigación con el fin de abordar tanto la comprensión detallada de las características de la cuenca del río Huacarmayo como la exploración de las relaciones entre la cantidad de precipitación y el caudal resultante. El enfoque descriptivo permitirá una caracterización exhaustiva de la cuenca, incluyendo aspectos como la topografía, la vegetación, la composición del suelo y otros factores relevantes. Esto proporcionará un contexto completo para comprender cómo la cuenca responde a la precipitación. Por otro lado, el enfoque explicativo se empleará para analizar la relación causal entre la cantidad de precipitación y el caudal de salida en la cuenca. Se buscará identificar los factores que influyen en esta relación y explicar cómo varía el caudal en respuesta a diferentes niveles de precipitación.

Combinando ambos enfoques, se busca ofrecer una comprensión detallada de la cuenca del río Huacarmayo y explicar las relaciones subyacentes entre la precipitación y el caudal

3.1.3 DISEÑO

El diseño descriptivo se selecciona para esta investigación debido a su capacidad para proporcionar una comprensión detallada de las características y fenómenos observados en la cuenca del río Huacarmayo. Este diseño permitirá describir y documentar minuciosamente aspectos como la composición del suelo, la cantidad de precipitación y el caudal resultante.

Al emplear un diseño descriptivo, se podrá recopilar datos de campo detallados y realizar análisis exhaustivos para caracterizar la cuenca en su totalidad. Esto incluye la identificación de patrones, tendencias y relaciones entre variables relevantes, lo que ayudará a obtener una visión completa y precisa de la cuenca y su comportamiento hidrológico.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

El trabajo de estudio tomará como población en el Distrito de Huácar - Provincia Ambo - Departamento de Huánuco. En la cuenca del río Huacarmayo.

3.2.2 MUESTRA

La muestra para el estudio será los datos recolectados de la cuenca del río Huacarmayo en ese tramo con la estación San Rafael.

Para los datos de precipitación máxima:

Tabla 2

Por año-mes los datos de precipitación máxima

P (mm)	
Año	SR
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	
2011	
2012	
2013	
2014	
2015	
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	
2023	
2024	

Nota. este formato de tabla es un formato simple donde se pone las precipitaciones maximas para luego obtener los datos necesarios con ello.

3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El procesamiento de datos en esta investigación implica varias etapas, que incluyen la recopilación, limpieza, análisis y visualización de datos. Se utilizarán herramientas computacionales para llevar a cabo estos procesos, como software estadístico para el análisis de datos y software de SIG (Sistemas de Información Geográfica) para el procesamiento de datos geoespaciales. Los datos recopilados de fuentes como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y en el programa Excel se procesarán los datos sobre la precipitación y otros aspectos de la cuenca del río Huacarmayo. Este procesamiento permitirá

realizar análisis detallados y generar resultados significativos para la investigación.

El análisis de datos en este estudio de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo implica examinar detalladamente la información recopilada durante la aplicación del simulador de lluvia. Se llevarán a cabo varios pasos de análisis, que incluyen:

Análisis de la cantidad de precipitación: Se examinarán los datos de precipitación registrados durante las pruebas con el simulador de lluvia para comprender la distribución y la intensidad de la lluvia en diferentes momentos.

Análisis de la escorrentía superficial: Se evaluará la cantidad de escorrentía superficial generada durante las pruebas, considerando factores como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la infiltración del suelo.

Comparación de resultados: Se compararán los datos obtenidos durante las pruebas con el simulador de lluvia para identificar patrones, tendencias o diferencias significativas entre diferentes condiciones de prueba.

Interpretación de resultados: Se analizarán los hallazgos para comprender mejor el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Huacarmayo y cómo se ve afectado por la aplicación de la lluvia simulada.

Validación de resultados: Se verificará la coherencia y la validez de los resultados obtenidos mediante métodos de análisis estadístico y comparaciones con datos históricos u otras fuentes de información

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 PRECIPITACIONES

Se selecciono una estación que este cerca a nuestro lugar de estudio siendo esta la Estación de San Rafael, el cual los datos fueron descargados de la página del SENAMHI de forma gratuita, nos basaremos en 25 datos de los últimos 25 años, siendo desde el año 2000 hasta el año 2024 teniendo así 25 datos a usar.

Tabla 3

Precipitaciones máximas

P (mm)	
Año	SR
2000	59.36
2001	70.56
2002	59.09
2003	53.28
2004	57.15
2005	49.63
2006	53.91
2007	54.59
2008	57.15
2009	57.63
2010	61.26
2011	62.29
2012	69.33
2013	75.08
2014	60.03
2015	46.09
2016	50.61
2017	64.34
2018	72.85
2019	67.99
2020	88.10
2021	68.70
2022	57.78
2023	49.83
2024	62.95
P (mm)	

Nota. Los datos fueron obtenidos del SENAMHI en formato Excel, de los cuales se extrajo el valor máximo de cada año. Posteriormente, todos estos valores máximos se

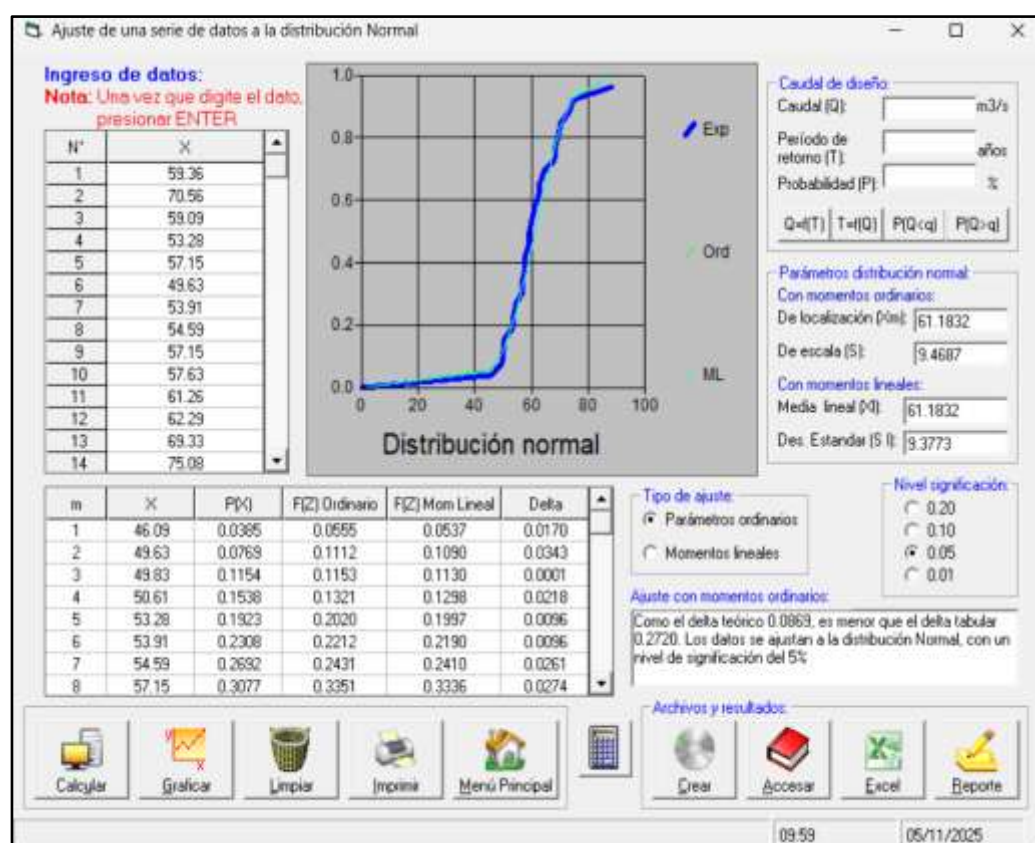
consolidaron en una sola tabla, que luego fue ingresada en el software Hidroesta para su análisis.

4.1.2 HIDROESTA

Para utilizar el software Hidroesta, este facilita el cálculo de la distribución más adecuada para los datos de precipitación máxima. El proceso comienza ingresando los datos en un archivo Excel, en este caso con un total de 25 registros de precipitación máxima. Luego, se selecciona la distribución estadística a emplear, comparando entre varias opciones y eligiendo aquella con el menor error teórico (delta). Para este análisis, se consideraron cuatro distribuciones: normal, Ganma y Gumbel.

Figura 12

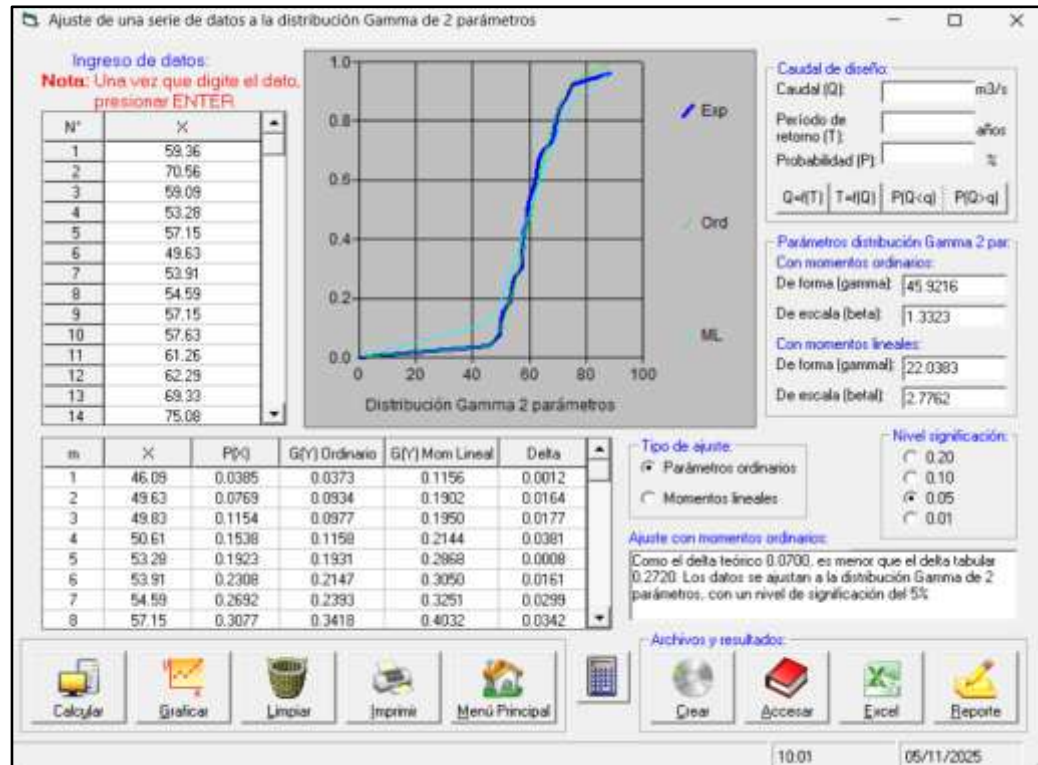
Distribución normal cálculo del delta teórico



Nota. En esta distribucion se puede observar que se tiene un delta teorico de 0.0869

Figura 13

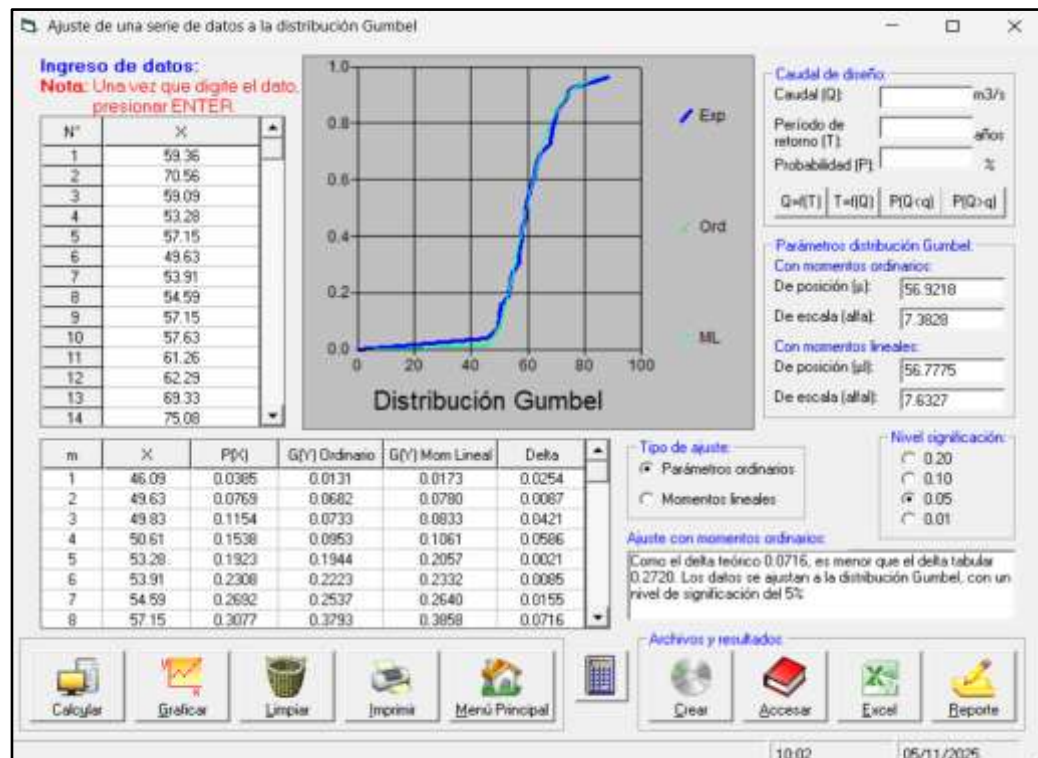
Distribución Gamma 2 parámetros cálculo del delta teórico



Nota. en esta distribucion se puede observar que se tiene un delta teorico de 0.0700

Figura 14

Distribución Gumbel cálculo del delta teórico

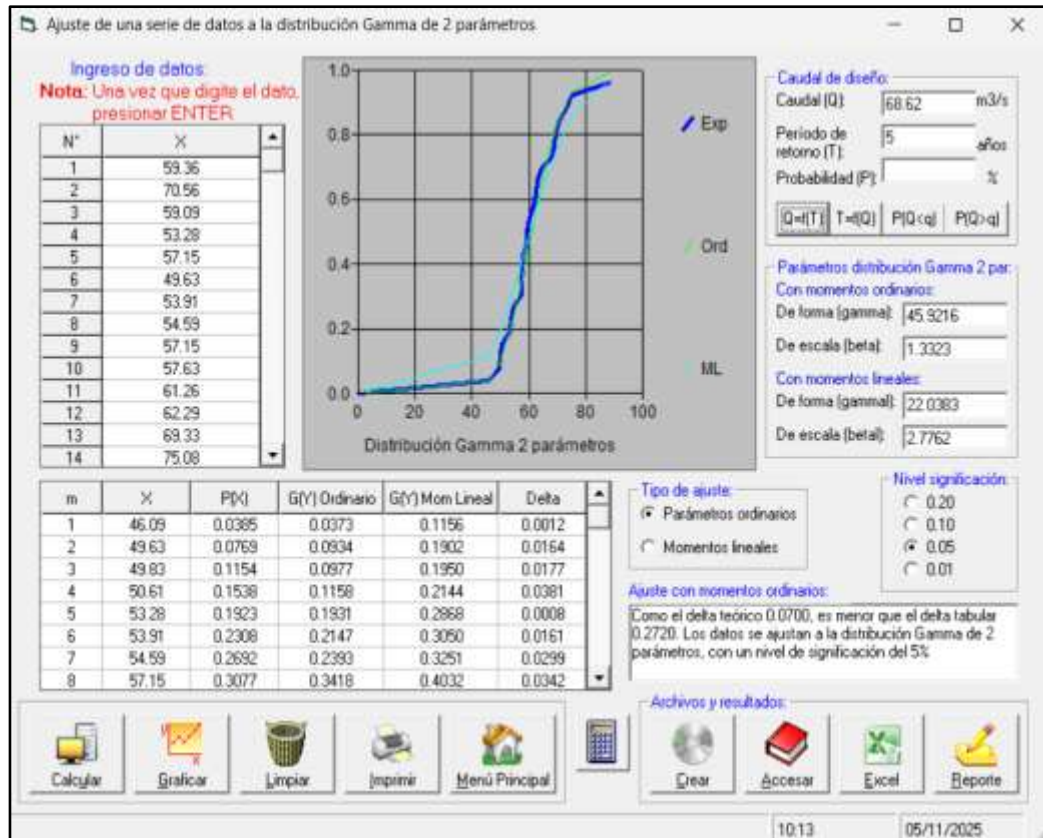


Nota. en esta distribucion se puede observar que se tiene un delta teorico de 0.0716

Luego de determinar el menor valor de delta teórico en la Ganma de 2 parámetros, se calcula la precipitación máxima correspondiente a distintos períodos de retorno. Este valor es proporcionado también por el software Hidroesta, entregándonos los siguientes resultados:

Figura 15

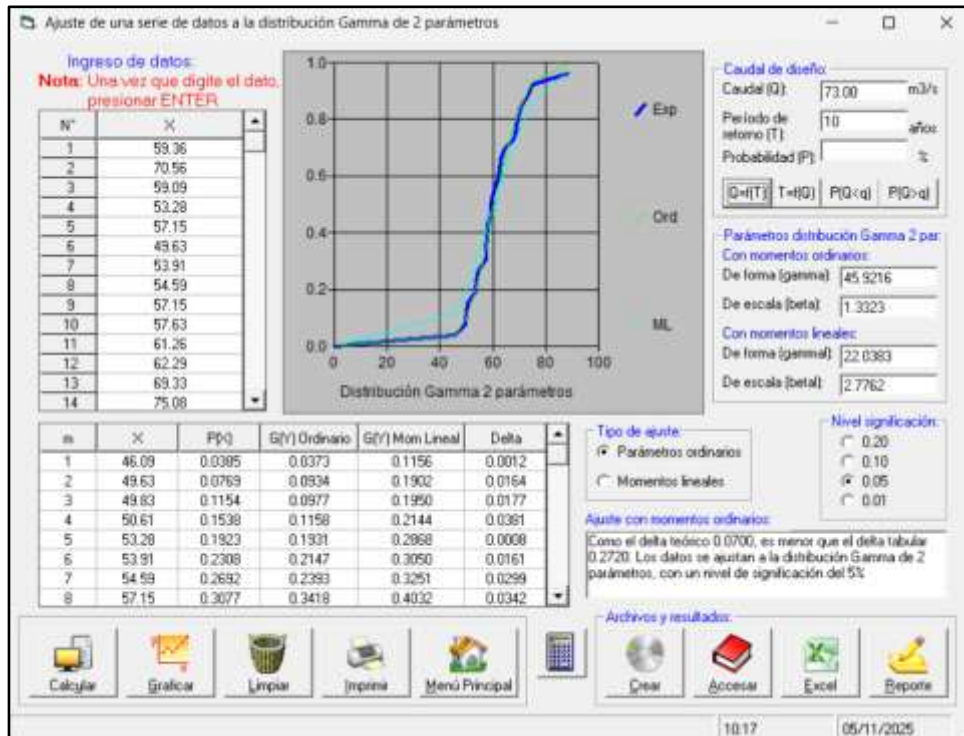
Distribución Ganma 2 parámetros de 5 años



Nota. para un tiempo de 5 años se muestra que se tiene una presipitacion maxima de 68.62 m³/s.

Figura 16

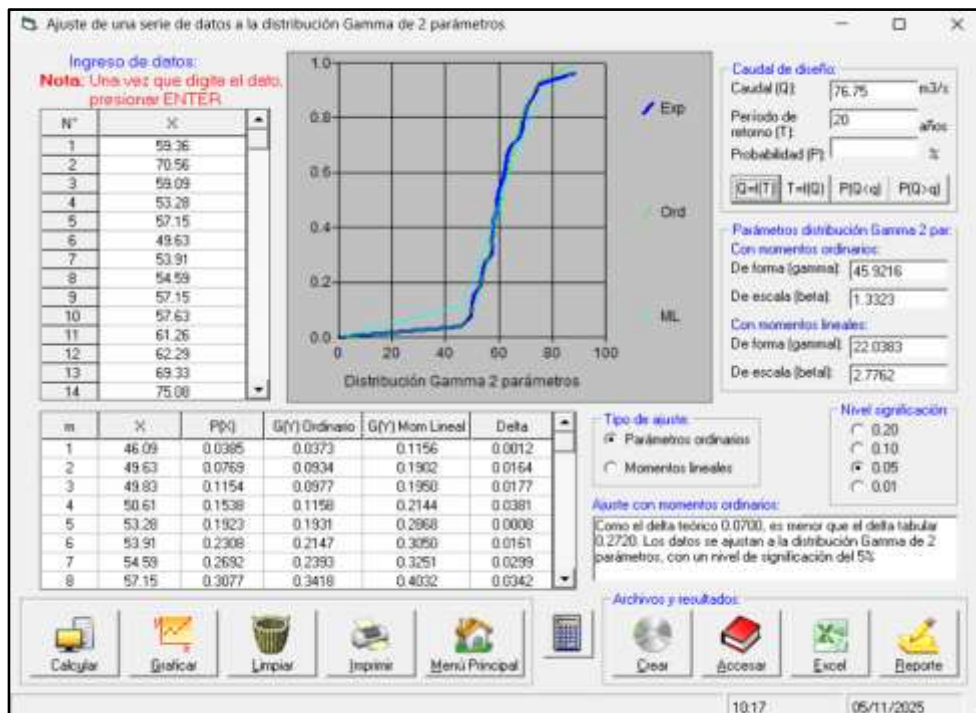
Distribución Ganma 2 parámetros de 10 años



Nota. para un tiempo de 10 años se muestra que se tiene una presipitacion maxima de 73.00 m3/s.

Figura 17

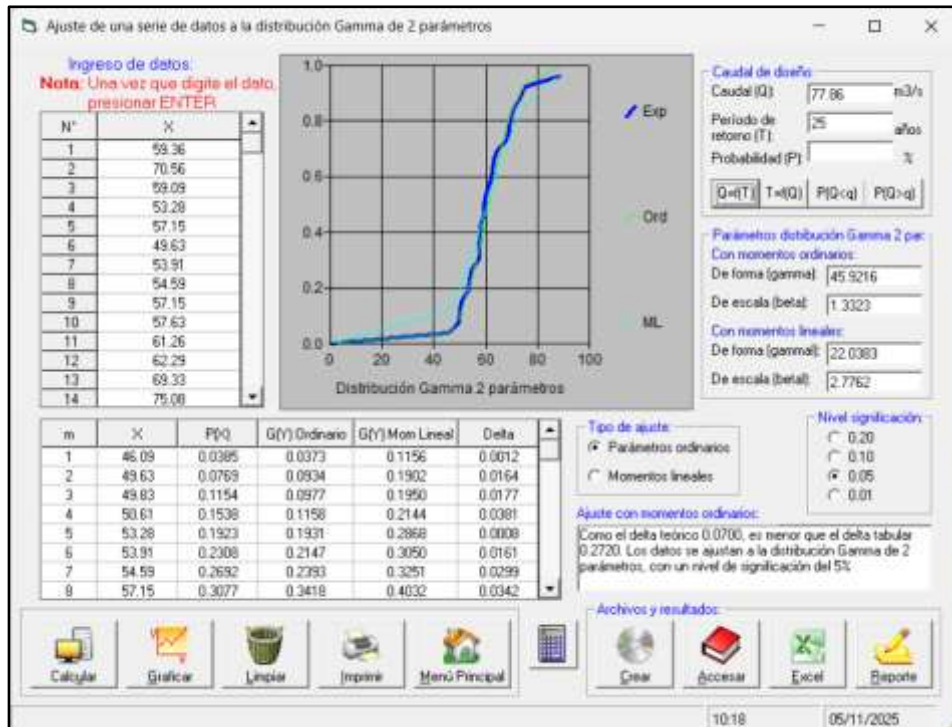
Distribución Ganma 2 parámetros de 20 años



Nota. para un tiempo de 20 años se muestra que se tiene una presipitacion maxima de 76.75 m3/s.

Figura 18

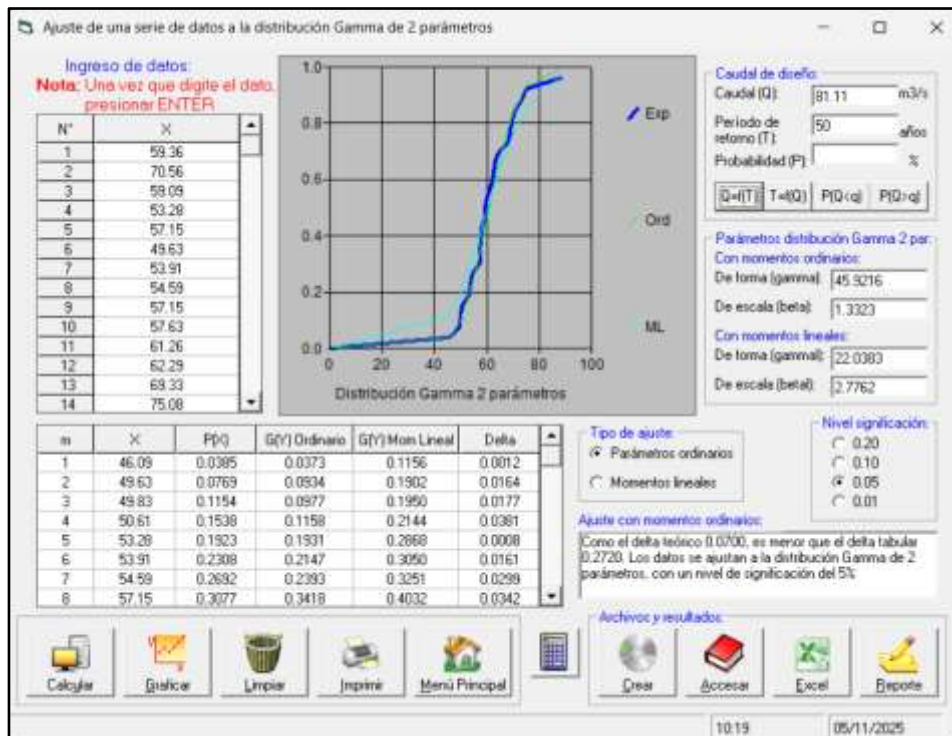
Distribución de Gama 2 parámetros de 25 años



Nota. para un tiempo de 25 años se muestra que se tiene una precipitación máxima de 77.86 m³/s.

Figura 19

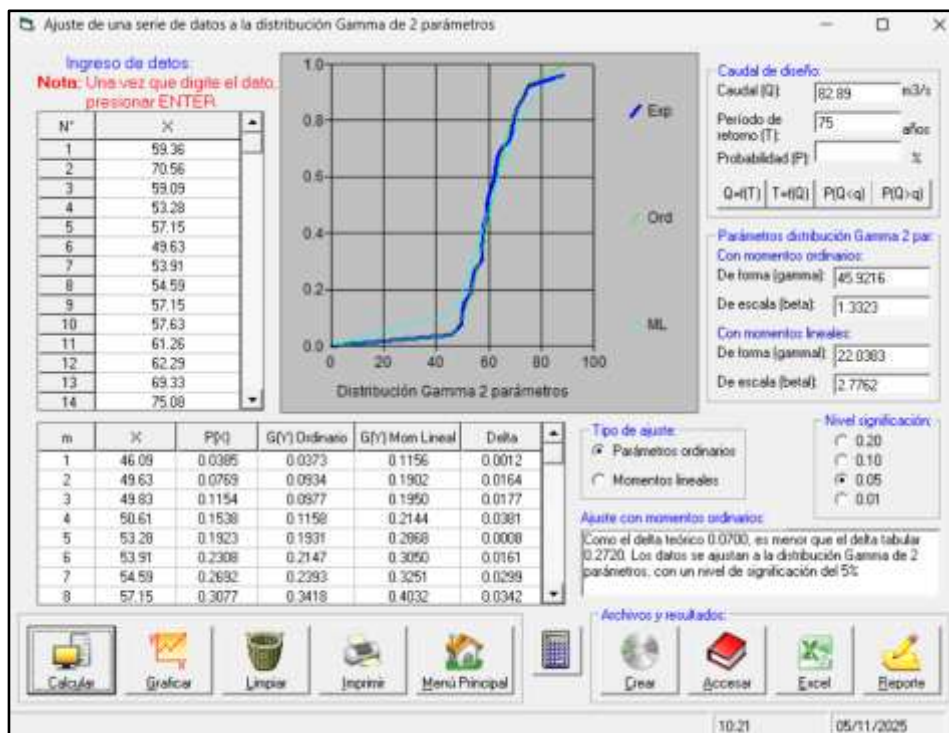
Distribución de Gama 2 parámetros de 50 años



Nota. para un tiempo de 50 años se muestra que se tiene una precipitación máxima de 81.11 m³/s.

Figura 20

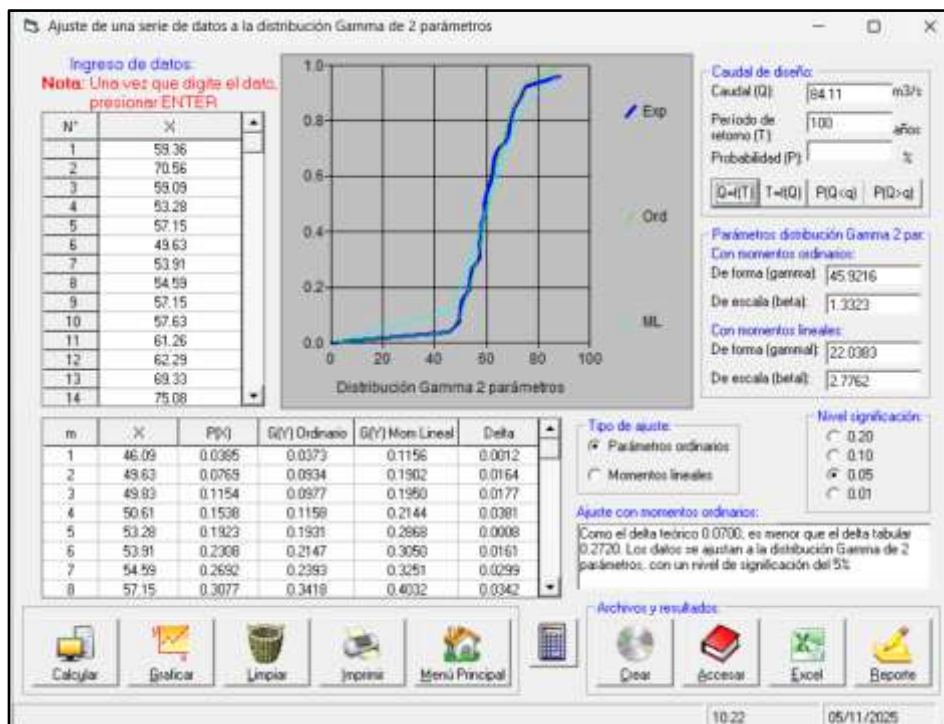
Distribución de Ganma 2 parámetros de 75 años



Nota. para un tiempo de 75 años se muestra que se tiene una precipitación máxima de 82.89 m³/s.

Figura 21

Distribución de Ganma 2 parámetros de 100 años



Nota. para un tiempo de 100 años se muestra que se tiene una precipitación máxima de 84.11 m³/s.

Se selecciono la distribución Ganma 2 parámetros y con el programa Hidroesta se calculó la precipitación máxima para cada periodo de retronó teniendo los siguientes datos:

Tabla 4

Precipitaciones máximas con la distribución Normal

Tiempo de Retorno	Distribución normal precipitación máx.
5	68.62
10	73.00
20	76.75
25	77.96
50	81.11
75	82.89
100	84.11

Nota. Se eligieron varios periodos de retorno para poder graficar la relacion entre la intensida y la escorrentia directa que se vera a continuacion.

4.1.3 INTENSIDADES

Para el cálculo de las intensidades se realizó mediante plantillas de Excel que se muestran en los anexos y se obtuvo lo siguiente:

PARA 5 AÑOS:

Tabla 5

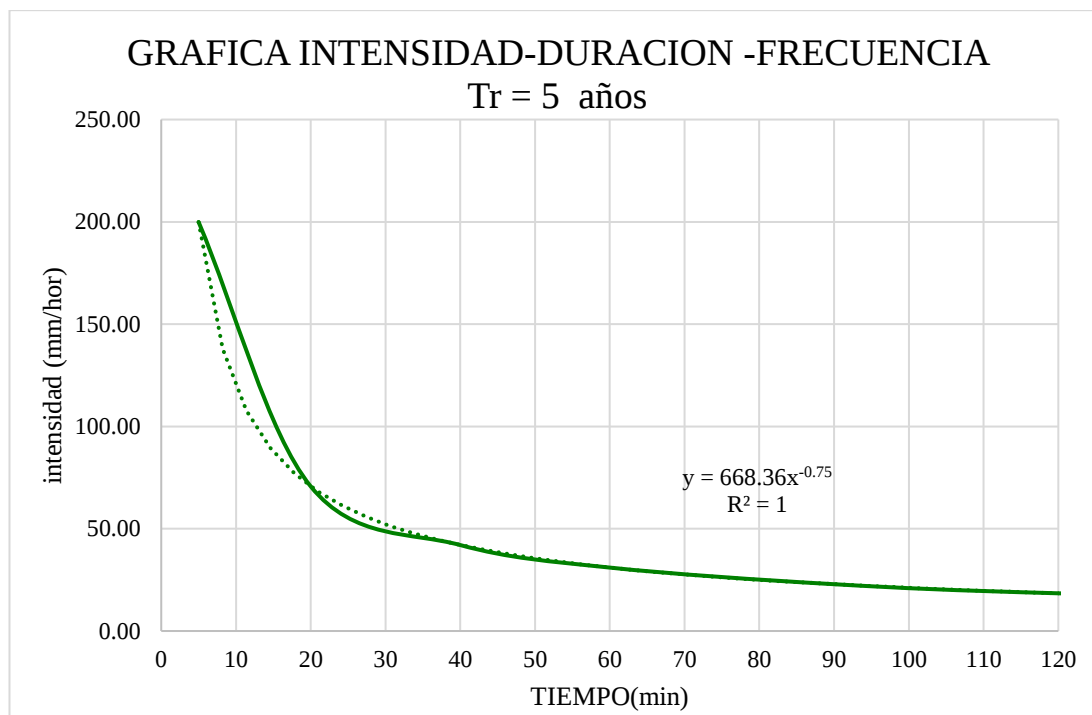
Cálculo de intensidades para 5 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=5
5	0.08	199.89
20	0.33	70.67
40	0.67	42.02
60	1	31.00
90	1.5	22.87
120	2	18.43
180	3	13.60
240	4	10.96
300	5	9.27
360	6	8.09
720	12	4.81
1440	24	2.86

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 22

Gráfico de las intensidades para 5 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 10 AÑOS:

Tabla 6

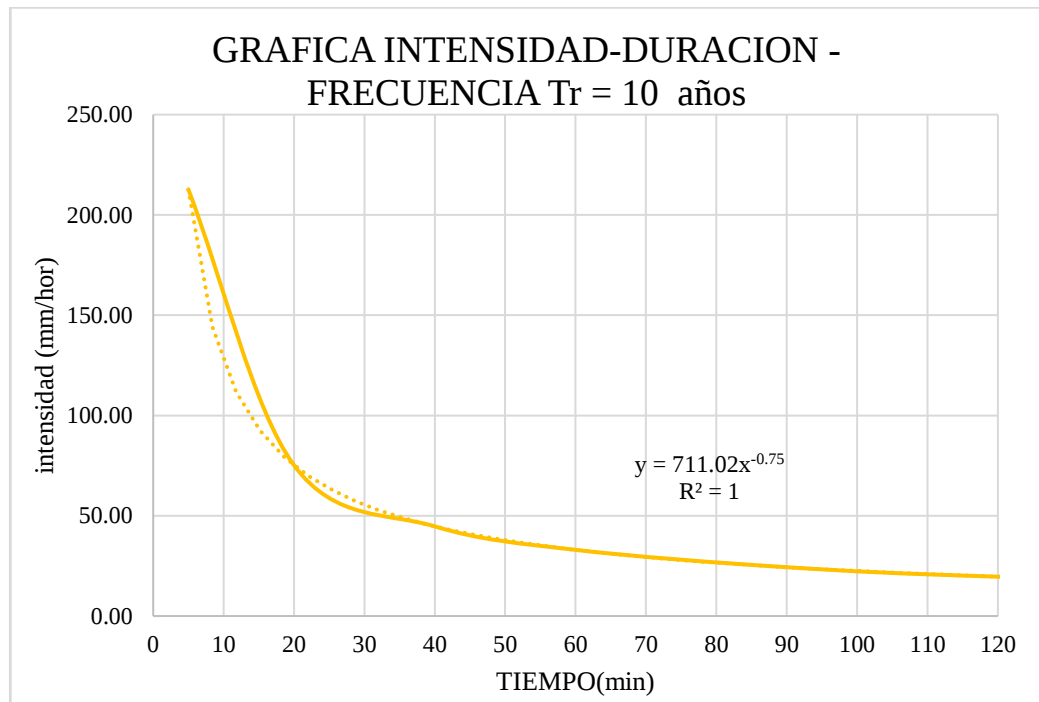
Cálculo de intensidades para 10 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=10
5	0.08	212.65
20	0.33	75.18
40	0.67	44.70
60	1	32.98
90	1.5	24.33
120	2	19.61
180	3	14.47
240	4	11.66
300	5	9.86
360	6	8.60
720	12	5.12
1440	24	3.04

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 23

Gráfico de las intensidades para 10 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 20 AÑOS:

Tabla 7

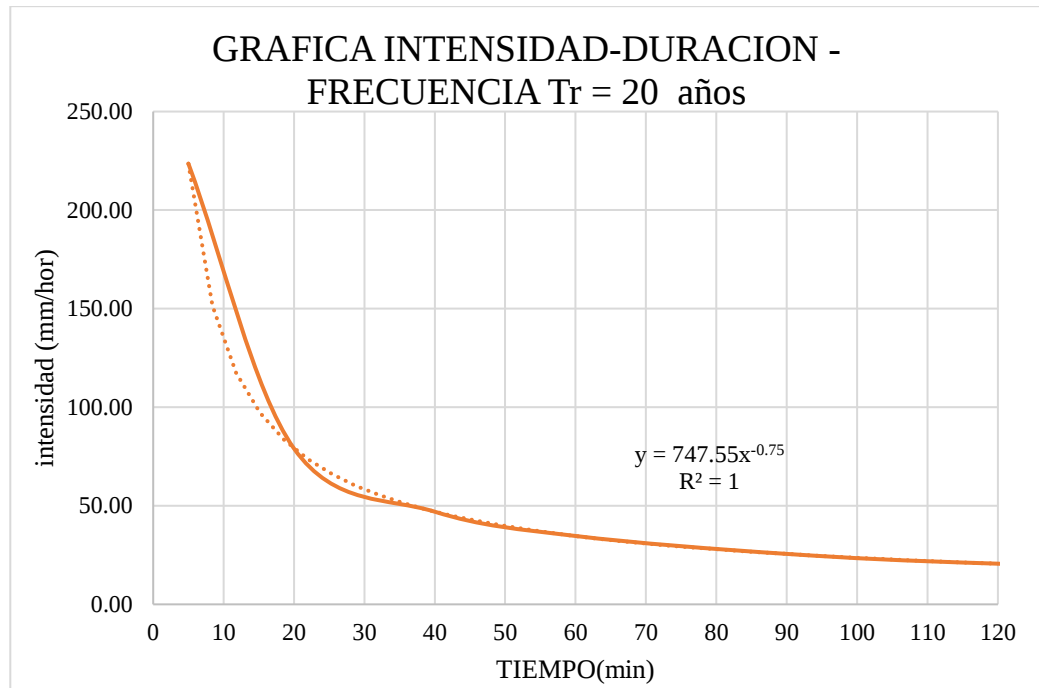
Cálculo de intensidades para 20 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=20
5	0.08	223.57
20	0.33	79.04
40	0.67	47.00
60	1	34.68
90	1.5	25.58
120	2	20.62
180	3	15.21
240	4	12.26
300	5	10.37
360	6	9.05
720	12	5.38
1440	24	3.20

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 24

Gráfico de las intensidades para 20 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 25 AÑOS:

Tabla 8

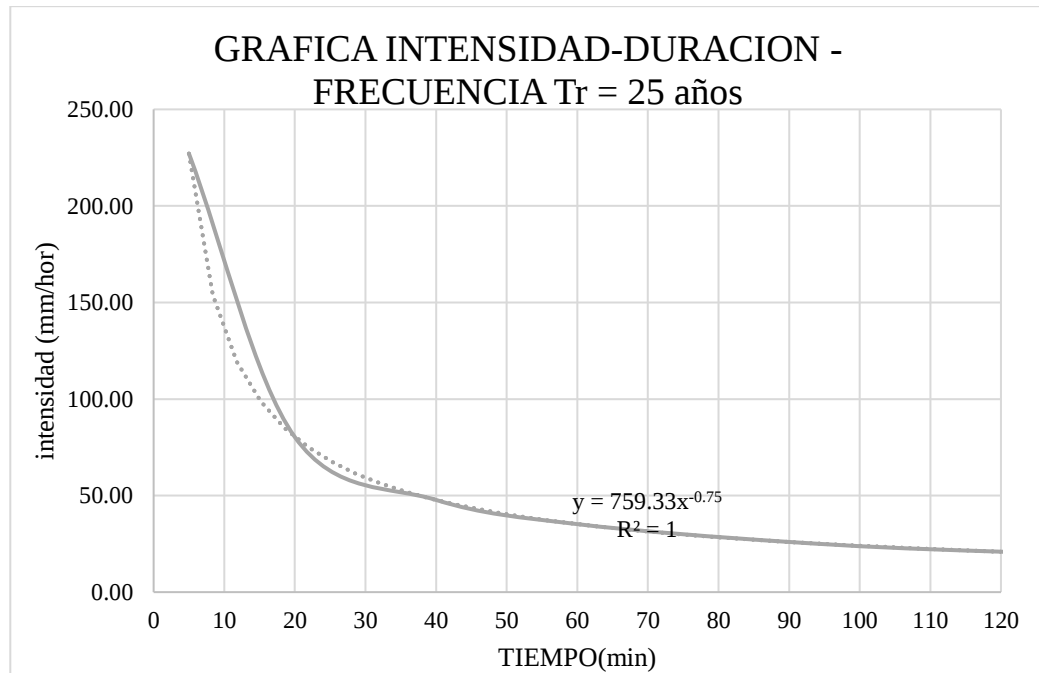
Cálculo de intensidades para 25 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=25
5	0.08	227.09
20	0.33	80.29
40	0.67	47.74
60	1	35.22
90	1.5	25.99
120	2	20.94
180	3	15.45
240	4	12.45
300	5	10.53
360	6	9.19
720	12	5.46
1440	24	3.25

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 25

Gráfico de las intensidades para 25 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 50 AÑOS:

Tabla 9

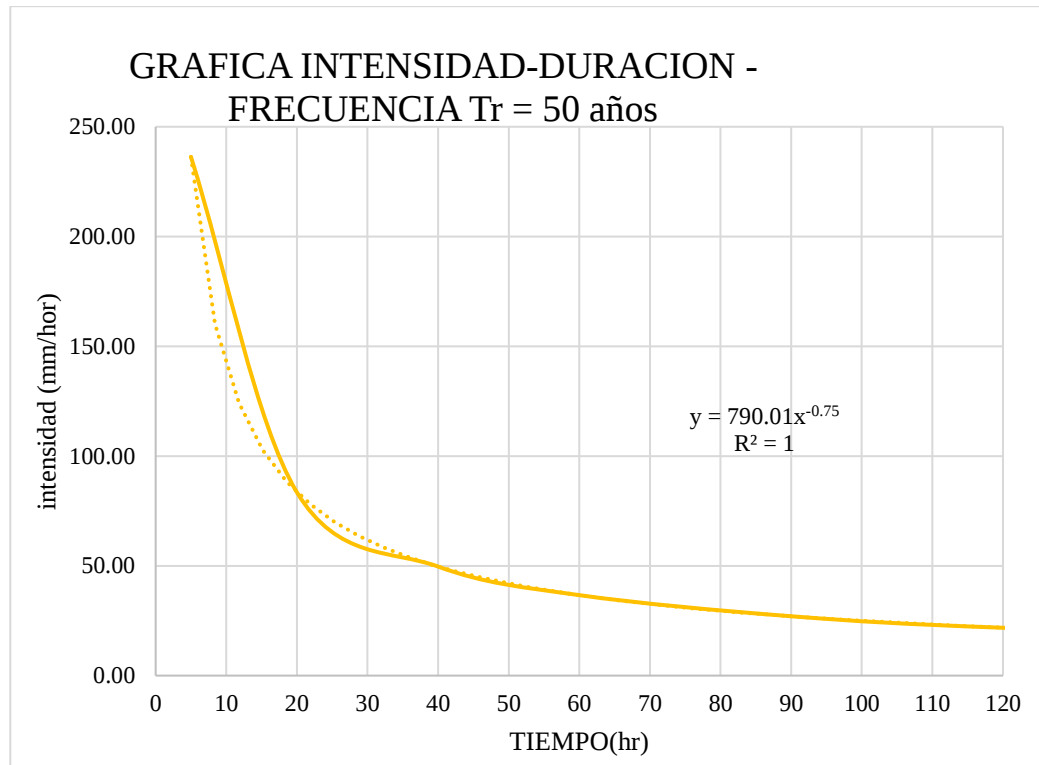
Cálculo de intensidades para 50 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	$T=50$
5	0.08	236.27
20	0.33	83.53
40	0.67	49.67
60	1	36.65
90	1.5	27.04
120	2	21.79
180	3	16.08
240	4	12.96
300	5	10.96
360	6	9.56
720	12	5.68
1440	24	3.38

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 26

Gráfico de las intensidades para 50 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 75 AÑOS:

Tabla 10

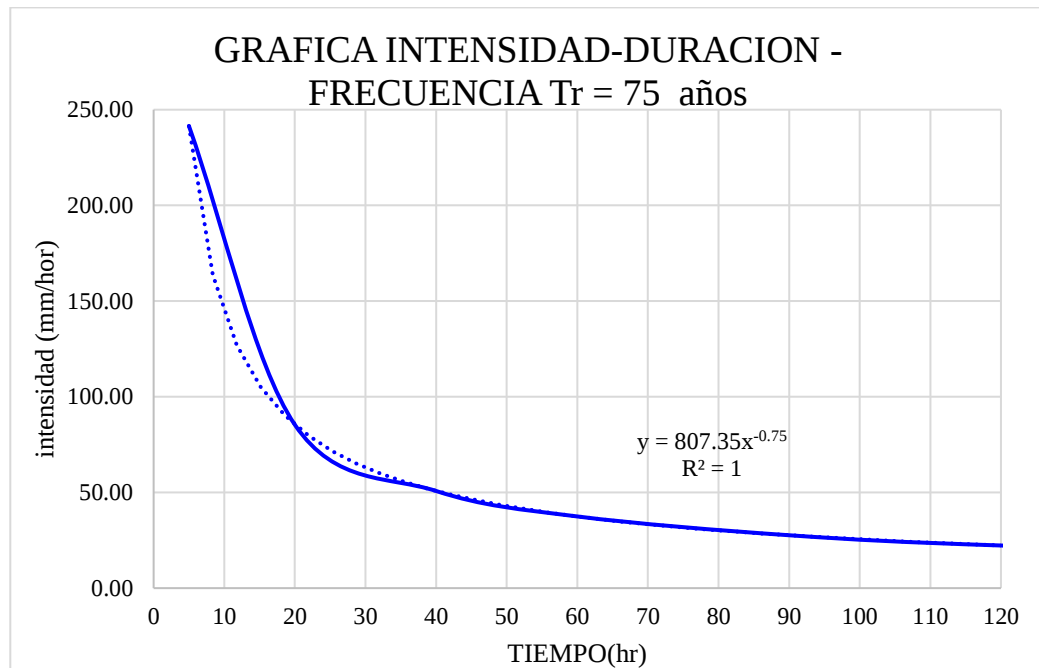
Cálculo de intensidades para 75 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=50
5	0.08	241.45
20	0.33	85.37
40	0.67	50.76
60	1	37.45
90	1.5	27.63
120	2	22.27
180	3	16.43
240	4	13.24
300	5	11.20
360	6	9.77
720	12	5.81
1440	24	3.45

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 27

Gráfico de las intensidades para 75 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

PARA 100 AÑOS:

Tabla 11

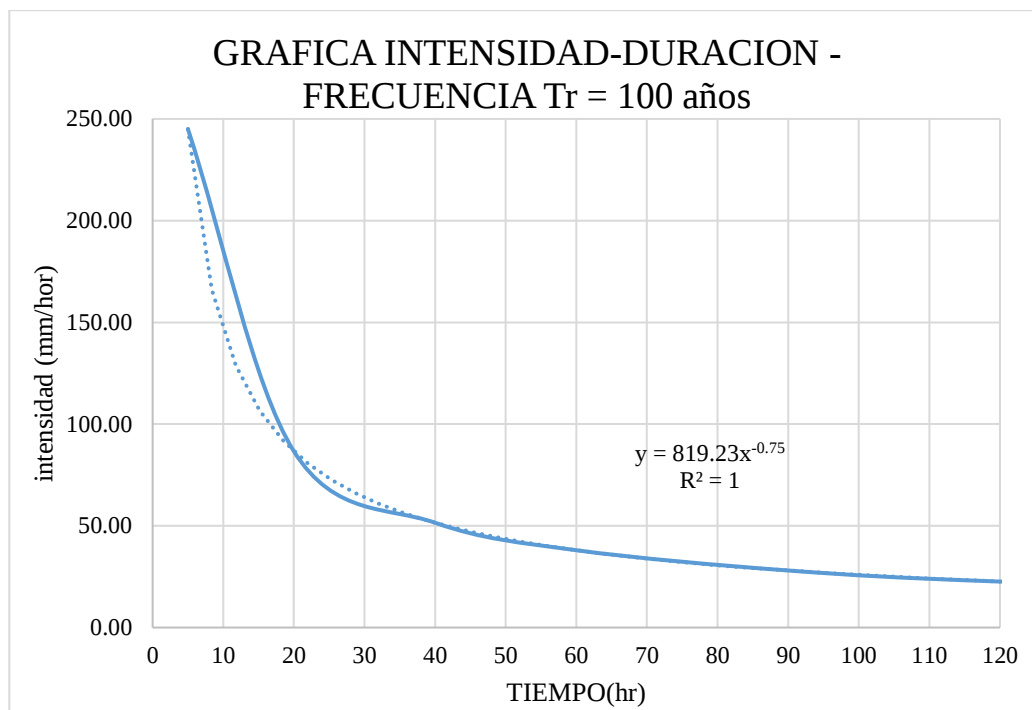
Cálculo de intensidades para 100 años

Tiempo de Duración		Intensidad (mm/hr)
min	hr	T=50
5	0.08	245.01
20	0.33	86.62
40	0.67	51.51
60	1	38.00
90	1.5	28.04
120	2	22.60
180	3	16.67
240	4	13.44
300	5	11.36
360	6	9.91
720	12	5.89
1440	24	3.50

Nota. Esta es la tabla de intensidades en función del tiempo (mm/hora). Estos datos serán utilizados para crear su respectiva gráfica IDF en una duracion de 2horas o 120min.

Figura 28

Gráfico de las intensidades para 100 años



Nota. Este gráfico se generó utilizando los datos de la tabla anterior, muestra las intensidades de las precipitaciones para un tiempo de 2 horas o 120min.

4.1.4 ESCORRENTÍA DIRECTA (PE)

Para el cálculo de la escorrentía directa se necesita el periodo de retorno, la intensidad calculada en dicho periodo y la duración de lluvia que tiene que ser lo mismo que se seleccionara de la intensidad, para este estudio se está haciendo con una duración de 120 min, por ende, la intensidad tiene que ser seleccionada en un tiempo de 120 min para cada periodo de retorno como se resaltó en la parte de intensidades. Calcularemos cuanta precipitación que se convierte en escorrentía directa a partir de las intensidades calculadas.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254[mm]$$

$$S = 108.86$$

Para 5 años:

Tabla 12

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 5 años

Tr = 5 años				
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)	
1440	2.86	2.86		3.98
720	4.81	7.67		2.10
360	8.09	15.75		0.35
300	9.27	25.03		0.09
240	10.96	35.99		1.64
180	13.60	49.59		5.66
120	18.43	68.02		13.79
90	22.87	90.90		26.85
60	31.00	121.90		47.97
40	42.02	163.92		80.50
20	70.67	234.59		140.80
5	199.89	434.48		326.57

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 10 años:

Tabla 13

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 10 años

Tr = 10 años				
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)	
1440	3.04	3.04		3.89
720	5.12	8.16		1.95
360	8.60	16.76		0.24
300	9.86	26.62		0.21
240	11.66	38.28		2.18
180	14.47	52.75		6.86
120	19.61	72.36		16.05
90	24.33	96.70		30.55
60	32.98	129.68		53.72
40	44.70	174.38		89.07
20	75.18	249.56		154.13
5	212.65	462.21		353.15

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 20 años:

Tabla 14

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 20 años

Tr = 20 años				
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)	
1440	3.20	3.20		3.82
720	5.38	8.58		1.82

360	9.05	17.62	0.16
300	10.37	27.99	0.34
240	12.26	40.25	2.68
180	15.21	55.46	7.96
120	20.62	76.08	18.08
90	25.58	101.66	33.82
60	34.68	136.34	58.75
40	47.00	183.34	96.53
20	79.04	262.38	165.66
5	223.57	485.95	376.00

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 25 años:

Tabla 15

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 25 años

Tr = 25 años			
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)
1440	3.25	3.25	3.80
720	5.46	8.71	1.78
360	9.19	17.90	0.14
300	10.53	28.43	0.38
240	12.45	40.89	2.86
180	15.45	56.34	8.33
120	20.94	77.28	18.75
90	25.99	103.27	34.89
60	35.22	138.49	60.39
40	47.74	186.23	98.96
20	80.29	266.52	169.40
5	227.09	493.61	383.39

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 50 años:

Tabla 16

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 50 años

Tr = 50 años			
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)
1440	3.38	3.38	3.74
720	5.68	9.06	1.68
360	9.56	18.62	0.09
300	10.96	29.58	0.52
240	12.96	42.54	3.33
180	16.08	58.61	9.32
120	21.79	80.40	20.53
90	27.04	107.44	37.73
60	36.65	144.09	64.72
40	49.67	193.76	105.32
20	83.53	277.29	179.18

5	236.27	513.56	402.66
---	--------	--------	--------

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 75 años:

Tabla 17

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 75 años

Tr = 75 años			
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)
1440	3.45	3.45	3.71
720	5.81	9.26	1.62
360	9.77	19.03	0.07
300	11.20	30.23	0.61
240	13.24	43.47	3.61
180	16.43	59.90	9.89
120	22.27	82.17	21.55
90	27.63	109.80	39.36
60	37.45	147.25	67.19
40	50.76	198.01	108.94
20	85.37	283.37	184.73
5	241.45	524.83	413.57

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

Para 100 años:

Tabla 18

Cálculo de la cantidad de escorrentía directa para 100 años

Tr = 100 años			
TIEMPO (min)	LLUVIA (mm)	p.acumulada (mm)	preci. Efect. Acumul. (mm)
1440	3.50	3.50	3.68
720	5.89	9.40	1.59
360	9.91	19.31	0.06
300	11.36	30.68	0.67
240	13.44	44.11	3.80
180	16.67	60.78	10.29
120	22.60	83.38	22.26
90	28.04	111.41	40.48
60	38.00	149.42	68.89
40	51.51	200.92	111.44
20	86.62	287.55	188.55
5	245.01	532.55	421.05

Nota. Esta es la tabla de muestra la cantidad de escorrentía directa se va dar en un tiempo de retorno determinado.

4.1.5 RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE LLUVIA Y LA ESCORRENTÍA

Después de la obtención de la escorrentía directa para los diferentes periodos de retornos, se procede a comparar y ver la relación con la intensidad de lluvia.

Tabla 19

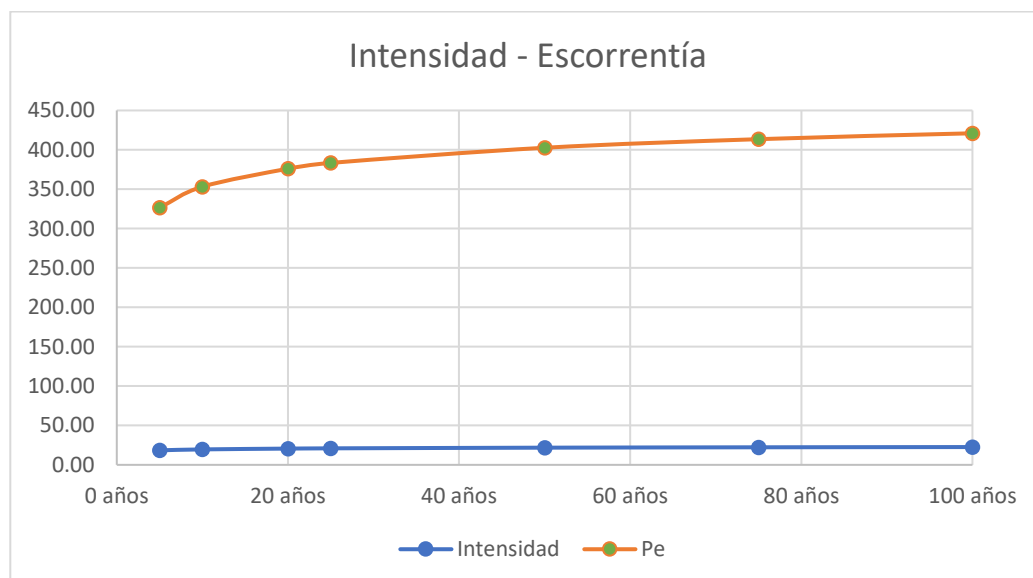
Comparación de intensidad de lluvia y escorrentía directa

Tiempo de retorno	Intensidad	Pe
5 años	18.43 mm/hr	326.57 mm
10 años	19.61 mm/hr	353.15 mm
20 años	20.62 mm/hr	376.00 mm
25 años	20.94 mm/hr	383.39 mm
50 años	21.79 mm/hr	402.66 mm
75 años	22.27 mm/hr	413.57 mm
100 años	22.60 mm/hr	421.05 mm

Nota. Se muestra una relacion entre la intensidad de el Pe, que mientras más tiempo de retorno se tiene mayor es la intensidad y de la misma forma incrementa el Pe, esto se debe a que el Pe para su calculo depende de la intensidad por ende mientras aumente o disminuya de la misma forma lo hara la intensidad ambos son directamente proporcionales en esa relacion, en el siguiente grafico se mostrara la tendencia de ambos.

Figura 29

Gráfico de relación entre la intensidad y el Pe



Nota. En el grafico se puede observa como el Pe que es la linea anaranjada incrementa a medida que lo hace la intensidad que es linea azul, mientras los años aumentan esas dos lineas tienen la misma tendencia dando asi la relacion entre ambas como directamente proporcionales.

4.1.6 CAUDAL EN RELACIÓN A LA INTENSIDAD DE LLUVIA

Para el cálculo del caudal se pasó a calcular con el método de METODO RACIONAL MODIFICADO. Para el método racional modificado tendremos que tener en cuenta los datos de la cuenca de estudio en cuestión y hacer uso de las siguientes formulas:

Tabla 20

Datos generales de la cuenca

CN =	70.00	
Área Cuenca	30.00	km ²
Perímetro	37.40	km
L cauce:	14.00	km
Desnivel (ΔH)	1635.00	msnm
S Cuenca	0.12	m/m

Nota. En la tabla anterior se muestran los datos principales y necesarios para el calculo de los caudales en los tiempos de retorno determinados por el Método Racional Modificado.

Cálculo del caudal:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} * K$$

Tiempo de concentración:

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$t_c = 1.155549$$

Coefficiente de uniformidad:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

=> K = 1.078831

Factor de lluvia:

$$k_a = 1 - \log_{10} \frac{A}{15}$$

Los caudales en los diferentes tiempos de retorno serán:

Tabla 21

Caudales para Tiempos de retorno

Periodo de retorno	Caudal (m3/s)
5	58.77
10	62.52
20	65.73
25	66.77
50	69.46
75	70.99
100	72.03

Nota. En la tabla se muestran los caudales calculados por el Método Racional Modificado

Tabla 22

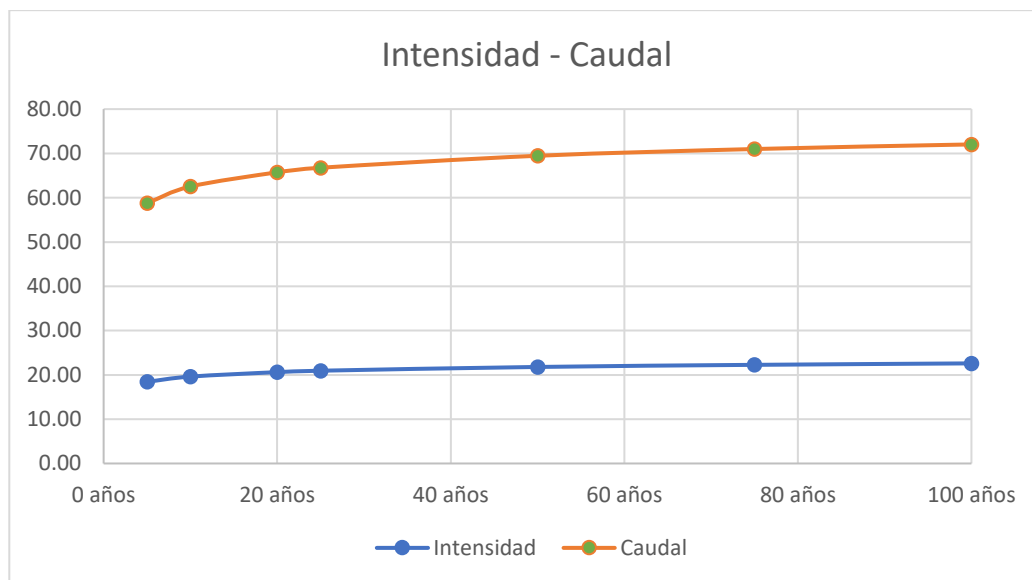
Comparación de intensidad de lluvia y Caudal

Tiempo de retorno	Intensidad	Caudal
5 años	18.43 mm/hr	58.77 m3/s
10 años	19.61 mm/hr	62.52 m3/s
20 años	20.62 mm/hr	65.73 m3/s
25 años	20.94 mm/hr	66.77 m3/s
50 años	21.79 mm/hr	69.46 m3/s
75 años	22.27 mm/hr	70.99 m3/s
100 años	22.60 mm/hr	72.03 m3/s

Nota. Se muestra una relacion entre la intensidad de el caudal, que mientras más tiempo de retorno se tiene mayor es la intensidad y de la misma forma incrementa el caudal, esto se debe a que el caudal para su calculo depende del Pe y este mismo depende de la intensidad por ende mientras aumente o disminuya de la misma forma lo hara la intensidad ambos son directamente proporcionales en esa relacion, en el siguiente grafico se mostrara la tendencia de ambos.

Figura 30

Gráfico de relación entre la intensidad y el caudal



Nota. En el gráfico se puede observar como el caudal que es la línea anaranjada incrementa a medida que lo hace la intensidad que es línea azul, mientras los años aumentan esas dos líneas tienen la misma tendencia dando así la relación entre ambas como directamente proporcionales.

4.1.7 DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE DEFENSA RIBEREÑA

Dado que se ha obtenido datos sobre la intensidad de lluvia, las precipitaciones efectivas y los caudales máximos estimados para distintos periodos de retorno, podemos proponer una estructura de defensa ribereña preliminar que esté diseñada para soportar las condiciones de caudal y prevenir inundaciones. Aquí una propuesta básica para una estructura de defensa ribereña, basada en los datos obtenidos:

Espigones: Los espigones son estructuras transversales que proyectan en el cauce para reducir la velocidad de la corriente y proteger la ribera. Son adecuados en áreas donde se necesita redirigir o controlar el flujo de agua en lugar de bloquearlo por completo.

Para asegurar la efectividad de la defensa, se considera una altura que sobrepase los caudales máximos estimados en los periodos de retorno más largos.

Altura mínima sugerida: aproximadamente 1.5 metros por encima del caudal máximo esperado de 100 años (68.00 m³/s), es decir, entre 3 y 4 metros de altura total. Esto brinda un margen de seguridad en caso de eventos extremos.

Para determinar la altura del espigón utilizaremos la siguiente formula que es un escalamiento hidráulico que sale de la ecuación de Manning para flujo uniforme en canal ancho:

$$H = H_{ref} * \left(\frac{Q}{Q_{ref}} \right)^{0.6}$$

El ancho de la base debe ser mayor que la altura para dar estabilidad a la estructura y resistir las fuerzas de arrastre del agua por un factor de seguridad está entre 1.3 y 1.5 H, pero para la presente investigación usaremos el más conservador 1.5H.

Ancho sugerido: entre 4 y 6 metros para garantizar la estabilidad, considerando las intensidades de lluvia y los caudales estimados.

Estas dimensiones y características te darán una defensa ribereña robusta que podrá contener caudales de eventos con largos periodos de retorno y protegerá la ribera del río Huacarmayo.

Para el cálculo de las dimensiones de los espigones se obtiene tomando en cuenta caudal en determinado tiempo de retorno:

Para un tiempo de retorno T = 5años, donde el caudal es de 58.77m³/s

$$H = 3.5 * \left(\frac{58.77}{68} \right)^{0.6}$$

$$H = 3.21$$

Entonces para determinar la base de esa defensa ribereña será:

$$B = 1.5 * H$$

$$B = 4.81$$

Así iremos determinando las dimensiones para cada tiempo de retorno en base al caudal determinado.

Tabla 23

Dimensiones del espigón por tiempo de retorno

Tiempo de retorno	Caudal	Altura H	Base B
5 años	58.77 m ³ /s	3.21 m	4.81 m
10 años	62.52 m ³ /s	3.33 m	5.00 m
20 años	65.73 m ³ /s	3.43 m	5.15 m

25 años	66.77 m3/s	3.46 m	5.20 m
50 años	69.46 m3/s	3.55 m	5.32 m
75 años	70.99 m3/s	3.59 m	5.39 m
100 años	72.03 m3/s	3.63 m	5.44 m

Nota. En la tabla se muestra las dimensiones para el espigón en base a cada tiempo de retorno y al caudal.

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis Nula (H_0): No existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.

Para contrastar la hipótesis nos basaremos en los datos del caudal y la precipitación registrada por la estación hidrológica calculada para cada periodo de retorno teniendo la siguiente tabla:

Tabla 24

Comparación de Pe y Caudal

Tiempo de retorno	Pe	Caudal
5 años	68.62 mm	58.77 m3/s
10 años	73.00 mm	62.52 m3/s
20 años	76.75 mm	65.73 m3/s
25 años	77.96 mm	66.77 m3/s
50 años	81.11 mm	69.46 m3/s
75 años	82.89 mm	70.99 m3/s
100 años	84.11 mm	72.03 m3/s

Nota. Los datos fueron obtenidos en la parte de los resultados, estos datos nos ayudaran para poder verificar la relación entre ellos y así validar la hipótesis.

Tabla 25

Correlación de Pearson de Pe y Caudal

	Pe	Caudal
Pe	Correlación de Pearson: 1.0000 Sig. (bilateral): — N: 7	Correlación de Pearson: 0.9976* Sig. (bilateral): 0.00000057 N: 7
Caudal	Correlación de Pearson: 0.9976*	Correlación de Pearson: 1.0000

Sig. (bilateral): 0.00000057	Sig. (bilateral): —
N: 7	N: 7

Nota. Correlaciones de Pearson (bilaterales). $p < .05$. $N = 7$ (periodos de retorno: 5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años).

Usaremos el coeficiente de correlación de Pearson debido a que nuestros datos presentan una distribución normal, para evaluar la relación entre precipitación y caudal. Este coeficiente (r) toma valores entre -1 y 1, donde:

$r = 0$: No hay correlación.

$r > 0$: Correlación positiva (a mayor intensidad, mayor P_e).

$r < 0$: Correlación negativa.

Posteriormente, evaluaremos el valor de p para determinar la significancia estadística. Si el valor p es menor que 0.05, rechazaremos la hipótesis nula, indicando una correlación significativa.

Una vez realizado el cálculo en SPSS se obtiene que el coeficiente de correlación de Pearson entre la precipitación registrada y el caudal máximo es 0.998, lo que indica una correlación positiva muy fuerte entre ambas variables. Además, el valor p es 5.71×10^{-7} , que es significativamente menor que 0.05. Esto permite rechazar la hipótesis nula con un alto grado de confianza. Podemos concluir que existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo, confirmando la hipótesis alterna (H_1).

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hipótesis Nula (H_{01}): No existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía directa en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{11}): Existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía directa en la cuenca del río Huacarmayo.

Para contrastar esta hipótesis se tomaron los valores de intensidad de lluvia y la precipitación efectiva (P_e) calculada para los diferentes periodos de retorno, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 26*Comparación de Intensidad de Lluvia y Escorrentía Directa (Pe)*

Tiempo de retorno	Intensidad	Pe
5 años	18.43 mm/hr	326.57 mm
10 años	19.61 mm/hr	353.15 mm
20 años	20.62 mm/hr	376.00 mm
25 años	20.94 mm/hr	383.39 mm
50 años	21.79 mm/hr	402.66 mm
75 años	22.27 mm/hr	413.57 mm
100 años	22.60 mm/hr	421.05 mm

Nota. Los valores fueron obtenidos a partir de los resultados del simulador de lluvia y del cálculo de la precipitación efectiva en la cuenca, los cuales permiten evaluar el comportamiento de la escorrentía en función de la intensidad de las precipitaciones.

Tabla 27*Correlación de Intensidad de Lluvia y Escorrentía Directa (Pe)*

	Intensidad	Caudal
Intensidad	Correlación de Pearson: 1.0000	Correlación de Pearson: 0.9998*
	Sig. (bilateral): —	Sig. (bilateral): 0.0000000015
	N: 7	N: 7
Caudal	Correlación de Pearson: 0.9998*	Correlación de Pearson: 1.0000
	Sig. (bilateral): 0.0000000015	Sig. (bilateral): —
	N: 7	N: 7

Nota. Correlaciones de Pearson (bilaterales). $p < .05$. N = 7 (periodos de retorno: 5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años).

Usaremos el coeficiente de correlación de Pearson debido a que nuestros datos presentan una distribución normal, para evaluar la relación entre intensidad y Pe. Este coeficiente (r) toma valores entre -1 y 1 , donde:

$r = 0$: No hay correlación.

$r > 0$: Correlación positiva (a mayor intensidad, mayor Pe).

$r < 0$: Correlación negativa.

Posteriormente, evaluaremos el valor de p para determinar la significancia estadística. Si el valor p es menor que 0.05, rechazaremos la hipótesis nula, indicando una correlación significativa.

Una vez realizado el cálculo en SPSS se obtiene que el coeficiente de correlación de Pearson entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía directa (Pe) es 0.9998, lo que indica una correlación positiva muy fuerte entre ambas variables. Además, el valor p es 1.50×10^{-9} , que es significativamente menor

que 0.05. Esto permite rechazar la hipótesis nula con un alto grado de confianza.

Podemos concluir una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía directa (P_e) en la cuenca del río Huacarmayo, confirmando la hipótesis alterna (H_{11}).

Hipótesis Nula (H_{02}): No existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{12}): Existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

Para contrastar esta hipótesis se consideraron los valores de intensidad de lluvia y los caudales máximos calculados para los distintos periodos de retorno. En la siguiente tabla se presentan los datos utilizados en el análisis:

Tabla 28

Comparación de Intensidad de Lluvia y Caudal

Tiempo de retorno	Intensidad	Caudal
5 años	18.43 mm/hr	58.77 m ³ /s
10 años	19.61 mm/hr	62.52 m ³ /s
20 años	20.62 mm/hr	65.73 m ³ /s
25 años	20.94 mm/hr	66.77 m ³ /s
50 años	21.79 mm/hr	69.46 m ³ /s
75 años	22.27 mm/hr	70.99 m ³ /s
100 años	22.60 mm/hr	72.03 m ³ /s

Nota. Los datos provienen del procesamiento de los resultados obtenidos mediante el simulador de lluvia y los cálculos hidrológicos realizados en la cuenca del río Huacarmayo.

Tabla 29

Correlación de Pearson de Intensidad de Lluvia y Caudal

	Intensidad	Caudal
Intensidad	Correlación de Pearson: 1.0000 Sig. (bilateral): — N: 7	Correlación de Pearson: 0.9958* Sig. (bilateral): 0.00000021267 N: 7
Caudal	Correlación de Pearson: 0.9958* Sig. (bilateral): 0.00000021267 N: 7	Correlación de Pearson: 1.0000 Sig. (bilateral): — N: 7

Nota. Correlaciones de Pearson (bilaterales). $p < .05$. $N = 7$ (periodos de retorno: 5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años).

Usaremos el coeficiente de correlación de Pearson debido a que nuestros datos presentan una distribución normal, para evaluar la relación entre intensidad y caudal. Este coeficiente (r) toma valores entre -1 y 1 , donde:

$r = 0$: No hay correlación.

$r > 0$: Correlación positiva (a mayor intensidad, mayor caudal).

$r < 0$: Correlación negativa.

Posteriormente, evaluaremos el valor de p para determinar la significancia estadística. Si el valor p es menor que 0.05 , rechazaremos la hipótesis nula, indicando una correlación significativa.

Una vez realizado el cálculo en SPSS se obtiene que el coeficiente de correlación de Pearson entre la intensidad de la lluvia y el caudal es $r = 0.9958$, lo que indica una correlación positiva muy fuerte entre ambas variables. Además, el valor p es 2.1267×10^{-6} , que es significativamente menor que 0.05 . Esto permite rechazar la hipótesis nula con un alto grado de confianza.

Podemos concluir que existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal en la cuenca del río Huacarmayo, confirmando la hipótesis alterna (H_{12}).

Hipótesis Nula (H_{03}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña no dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los distintos periodos de retorno.

Hipótesis Alterna (H_{13}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los distintos periodos de retorno.

Para esta contrastación se consideraron los caudales máximos proyectados y las dimensiones propuestas para la defensa ribereña, resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 30

Relación entre Caudal Máximo y Dimensiones de la Defensa Ribereña

Tiempo de retorno	Caudal	Altura H	Base B
5 años	58.77 m ³ /s	3.21 m	4.81 m
10 años	62.52 m ³ /s	3.33 m	5.00 m
20 años	65.73 m ³ /s	3.43 m	5.15 m
25 años	66.77 m ³ /s	3.46 m	5.20 m

50 años	69.46 m ³ /s	3.55 m	5.32 m
75 años	70.99 m ³ /s	3.59 m	5.39 m
100 años	72.03 m ³ /s	3.63 m	5.44 m

Nota. Las alturas (H) se adoptaron considerando el tirante hidráulico calculado por Manning más un freeboard y un margen de seguridad.

Tabla 31

Correlación de Pearson de Intensidad de Lluvia y Caudal

	Caudal	Altura H	Base B
Caudal	Correlación de Pearson: 1.0000	Correlación de Pearson: 0.9969*	Correlación de Pearson: 0.9850*
	Sig. (bilateral): —	Sig. (bilateral): 0.0000009880N: 7	Sig. (bilateral): 0.0000526548
	N: 7		N: 7
Altura H	Correlación de Pearson: 0.9969*	Correlación de Pearson: 1.0000	Correlación de Pearson: 0.9922*Sig. (bilateral): 0.0000102020N: 7
	Sig. (bilateral): 0.0000009880	Sig. (bilateral): —	
	N: 7	N: 7	
Base B	Correlación de Pearson: 0.9850*	Correlación de Pearson: 0.9922*	Correlación de Pearson: 1.0000
	Sig. (bilateral): 0.0000526548	Sig. (bilateral): 0.0000102020	Sig. (bilateral): —
	N: 7	N: 7	N: 7

Nota. Correlaciones de Pearson (bilaterales). $p < .05$. N = 7 (periodos de retorno: 5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años).

Usaremos el coeficiente de correlación de Pearson debido a que nuestros datos presentan una distribución normal, para evaluar la relación entre el caudal y cada dimensión (H y B). Este coeficiente (r) toma valores entre -1 y 1, donde:

$r = 0$: No hay correlación.

$r > 0$: Correlación positiva (a mayor caudal, mayor dimensión).

$r < 0$: Correlación negativa.

Posteriormente, evaluaremos el valor p para determinar la significancia estadística. Si $p < 0.05$, rechazaremos la hipótesis nula, indicando una correlación significativa.

Una vez realizados los cálculos en SPSS se obtiene que:

Entre caudal máximo y Altura H: $r = 0.9969$ y $p = 0.0000009880$ (10 decimales), lo que indica una correlación positiva muy fuerte.

Entre caudal máximo y Base B: $r = 0.9850$ y $p = 0.0000526548$ (10 decimales), lo que indica una correlación positiva muy fuerte.

Dado que en ambos casos $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_{03}) con alto grado de confianza.

Podemos concluir que las dimensiones de la defensa ribereña (Altura H y Base B) dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los distintos periodos de retorno, confirmando la hipótesis alterna (H_{13}).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El delta teórico calculado en este estudio, de 0.07 y 0.0869, es un valor clave que ayuda a estimar con precisión las intensidades de lluvia y caudales asociados en distintos periodos de retorno. Comparando este delta con estudios como el realizado en el de Sarmiento (2024) podemos observar similitudes y diferencias en los valores de los deltas utilizados para modelar la precipitación y caudal en diferentes periodos de retorno en cuencas peruanas de alta pluviosidad. En dicha tesis, el delta ajustado osciló entre 0.1 y 0.15, reflejando una variabilidad significativa en el caudal durante eventos de lluvia intensa y destacando su relación directa con la capacidad de carga del cauce. Además, en la tesis menciona que para datos recopilados del 2000 hasta el 2020 se generaron escorrentías de 295 mm y 321 mm, tiende a tener una tendencia creciente y para nuestros cálculos las escorrentías variaron entre 326.57 y 421.05 mm estas variaciones se deben a factores geográficos, ubicación y cauce del río, pero en líneas generales la tendencia es que existe una relación altamente significativa entre la escorrentía directa y la intensidad de la lluvia.

Las intensidades de lluvia estimadas para diferentes periodos de retorno (5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años) muestran un incremento sostenido conforme aumenta el periodo de retorno, alcanzando valores de 18.43 mm/hr para un periodo de 5 años hasta 22.27 mm/hr para el periodo de 100 años. Estos resultados pueden compararse con la investigación desarrollada por Pimentel (2021), la cual, según una tesis similar, obtuvo intensidades máximas de lluvia de 16.5 mm/hr para un periodo de retorno de 25 años y de 18.1 mm/hr para 100 años, mostrando una tendencia de intensificación similar. La coincidencia de estos patrones entre ambas cuencas, a pesar de sus diferencias geográficas, sugiere que factores como la altitud y la distribución estacional de precipitaciones en la región central del Perú contribuyen a intensidades significativas durante eventos de alta recurrencia. Sin embargo, es importante señalar que, aunque la cuenca del río Huacarmayo registra valores levemente superiores, esta diferencia podría atribuirse a variaciones microclimáticas y a la orografía particular de la región de Huánuco.

Un estudio de referencia en el Perú es el realizado en la cuenca del río Rímac en Lima, una cuenca con una alta exposición a precipitaciones intensas y a eventos extremos debido a la influencia de fenómenos como El Niño. En la tesis titulada: *Evaluación de caudales máximos y diseño de estructuras de control de inundaciones en la cuenca del río Rímac* (Universidad Nacional Agraria La Molina), el autor encontró que los caudales máximos en esta cuenca se asocian directamente con eventos de precipitación intensos, presentando una fuerte correlación entre los niveles de precipitación y los caudales pico. Esta relación, muy similar a la encontrada en la cuenca del río Huacarmayo, confirma que los patrones de caudal en cuencas andinas del Perú están estrechamente ligados a la intensidad y duración de las lluvias. Los caudales máximos estimados para los distintos periodos de retorno, que oscilan desde 58.77 m³/s para un periodo de 5 años hasta 72.03 m³/s para un periodo de 100 años, revelan la alta sensibilidad de la cuenca del río Huacarmayo ante eventos de alta precipitación. La correlación casi perfecta ($r = 0.998$) entre la precipitación efectiva y el caudal confirma la hipótesis de que existe una relación directa y significativa. Este resultado no solo coincide con la tesis del río Rímac, sino que también es respaldado por otros estudios en cuencas andinas, que muestran que incluso cambios moderados en la precipitación pueden generar incrementos significativos en el caudal.

CONCLUSIONES

Relación entre la Intensidad de Lluvia y la Tasa de Escorrentía

Se ha comprobado que existe una correlación positiva y significativa entre la intensidad de la precipitación y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo. La correlación observada ($r = 0.998$) muestra que los incrementos en la intensidad de la lluvia generan un aumento proporcional en los caudales, lo cual es crítico para la planificación de estructuras de control de inundaciones. Este hallazgo respalda la hipótesis alterna planteada y demuestra que la precipitación es un factor determinante en la dinámica de escorrentía de la cuenca.

Determinación de los Caudales para Diferentes Intensidades de Lluvia

Se obtuvieron caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno, alcanzando valores de 58.77 m³/s para 5 años, 62.52 m³/s para 10 años, y hasta 72.03 m³/s para 100 años. Estos valores reflejan la variabilidad y el potencial de respuesta de la cuenca a eventos de lluvia de distinta magnitud, proporcionando una base sólida para diseñar infraestructuras de control y mitigar los riesgos de desbordamiento. La relación directa entre los valores de precipitación y los caudales permite establecer umbrales de caudal en función de la intensidad de las lluvias.

Dimensiones de la Estructura de Defensa Ribereña

Con los caudales máximos obtenidos y la relación significativa entre precipitación y escorrentía, se ha propuesto un diseño preliminar para una defensa ribereña, que incluye una altura de 3 a 4 metros, un ancho de base de 4 a 6 metros y materiales de construcción que garanticen la estabilidad estructural ante caudales de largo periodo de retorno. Estas dimensiones responden a la necesidad de resistencia y durabilidad en el contexto de eventos extremos, demostrando que el diseño debe adaptarse a la intensidad de los caudales que puede enfrentar la cuenca en eventos de alta precipitación.

En general este estudio confirma la importancia de considerar las variaciones en la precipitación para la gestión de caudales en la cuenca del río Huacarmayo. Las conclusiones obtenidas no solo contribuyen a una comprensión más clara de la relación precipitación-escorrentía, sino que

también son fundamentales para el diseño de infraestructuras resilientes en contextos hidrológicos similares.

RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de las precipitaciones y caudales en la cuenca del río Huacarmayo. La instalación de estaciones meteorológicas e hidrométricas permitirá recopilar datos en tiempo real, lo que facilitará la gestión de riesgos y la toma de decisiones informadas ante eventos climáticos extremos. Este sistema debería incluir la capacitación de personal local para la interpretación de los datos y la gestión del sistema.

Se sugiere el desarrollo de modelos hidrológicos que simulen el comportamiento de la escorrentía en función de diferentes escenarios de precipitación. Estos modelos permitirán anticipar la respuesta de la cuenca ante diversas intensidades de lluvia, mejorando la planificación y el diseño de infraestructuras de defensa ribereña. La calibración y validación de estos modelos deben basarse en datos históricos y en la información recopilada mediante el monitoreo.

A partir de los caudales máximos estimados, se recomienda que las infraestructuras de defensa ribereña sean diseñadas para soportar eventos de alta intensidad, considerando márgenes de seguridad adicionales. El uso de materiales adecuados y técnicas de construcción que refuercen la estabilidad de estas estructuras es crucial. Además, se debe considerar la incorporación de vegetación en las áreas circundantes para ayudar a mitigar la erosión y mejorar la estabilidad del suelo.

Es fundamental promover la educación y la concienciación sobre la importancia de la gestión del agua y los riesgos asociados a inundaciones en la comunidad local. Programas de capacitación y talleres pueden ayudar a los residentes a comprender cómo las actividades humanas impactan la escorrentía y el manejo del agua. Involucrar a la comunidad en iniciativas de monitoreo y en la implementación de prácticas sostenibles fortalecerá la resiliencia local frente a eventos climáticos adversos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (30 de 07 de 2015). Obtenido de Gruposacsa:
<https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>
- Accostupa, Y. (2017). *Fenómeno El Niño y su relación con la variabilidad climática en la provincia de Cusco*.
- Aliaga, A. S. (1983). *Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. Lima-Perú.
- ANA, A. N. (2015). *Generación del mapa temático de curva número (CN)*.
- Aráoz, G. F., & Luccioni, B. M. (2008). *Curva de fragilidad para muro de mampostería bajo cargas explosivas a partir de simulaciones numéricas*.
- Becerra, M. A. (1999). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. .
- Breña, A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial* . México.
- Camino, M. A., Bó, J., M., Cionchi, J. L., Del Rio, J., & Lopez de Amentia, A. &. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires*.
- CENEPRED. (2014). *Manual De Guía Metodológica De Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción De Riesgos De Desastres*.
- Chaupis, A. C. (2022). *Análisis y modelamiento del transporte de sedimentos de fondo en el Río Huallaga en tramos de San Rafael y Ambo*.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogota: Mc Graw Hill.
- Clima. (23 de 04 de 2024). Obtenido de
<http://es.contenidos.climantica.org/unidades/3/a-auga-en-movimiento/evapotranspiracion-e-escorrentia/escorrenti-a-superficial-e-subterra-nea>
- Colala, D. J. (2021). *ESTUDIO DE LA EROSIÓN Y PÉRDIDA DE SUELOS EMPLEANDO UN SIMULADOR DE LLUVIAS EN LA CIUDAD DE CHONGOYAPE - CHICLAYO*. Chiclayo - Perú.
- Cortez, G., & Vivien, L. (2018). *ECaracterización de las aguas residuales de la parte sur de la ciudad de Cajamarca y propuesta de tratamiento en la zona de Huacariz*.

- Cuello, C. F. (2020). *APLICACIÓN DE PROGRAMA PARA MODELACION DE LLUVIA-ESCORRENTIA EN LA CUENCA DEL RIO CABRERA, DEPARTAMENTO DEL HUILA*. Bogota - Colombia.
- Delgadillo, A. (2010). *Mofometria de Cuencas*. Lima.
- Didasko. (27 de 10 de 2021). Obtenido de <https://www.facebook.com/didasko.pe/photos/a.142148854583911/296940975771364/?type=3>
- Eslamian, S., & Saeideh, P. (2021). *Engineering Hydrology: Impact on Sustainable Development*.
- Fernandez, B., & Montt, J. P. (2001). *Estimación del periodo de retorno de sequías meteorológicas e hidrológicas mensuales*.
- Fernández, P., Luque, J., & Paoloni, J. (1971). *Análisis de la Infiltración y su aplicación para diseño de riego en el valle inferior del Río Colorado*.
- Flores, J. (2020). *Análisis de caudales máximos y su aplicación en la gestión del riesgo hídrico en la cuenca del río Mantaro*. Lima - Perú.
- Garay, S. G., & Vicente, T. H. (2021). *ANALISIS HIDRAULICO PARA REDUCIR RIESGOS DE INUNDACION DEL RÍO NUPE, EN EL CENTRO POBLADO DE PILCOCANCHA, DISTRITO DE RONDOS . HUANUCO - PERÚ*.
- Garcia, R. L. (2020). *Propuesta y análisis de metodologías para la evaluación de recursos mediante modelos precipitación-escorrentía*. Valencia - España.
- Gonzales, A. I. (2018). *Evaluacion del Riesgo de sequia operativa, en el sistema de recursos Hidricos de la cuecna del rio Tepalcatepec*. Mexico.
- González, J., Martínez, F., & López, A. (2021). *Application of the Témez Method for Flood Estimation in Ungauged Basins in Spain*.
- Herencia, B. G., & Carrera, C. E. (2019). *Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales*. Lima.
- Hernandez, R. F. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill.

- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*.
- INDECI. (2018). *Emergencias ordenadas por fecha*. Obtenido de Instituto Nacional de Defensa Civil : <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/ListadoEmergencias.asp?e>
- Julcamoro, J. F. (2017). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río el Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel – Cajamarca, 2017*. Universidad Nacional de Cajamarca, Peru. Cajamarca - Peru.
- Lopez, S. M. (Dic de 2010). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-4-Pluviometria-tridimensional-del-emisor-espaciado-a-1-90-metros-y-a-una-presion_fig2_262512177
- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*.
- Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*.
- Meted. (2024). Obtenido de www.meted.ucar.edu.
- Moreno, L. (2002). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante infiltración directa sobre el terreno*. . España.
- MTC, M. d. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- Narváez, G. L. (2023). *Determinación de escorrentía superficial y calidad de agua en la cuenca de abastecimiento de la parroquia de Aloasí*.
- Ortiz, S. O. (2016). *Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica*. Lima-Peru.
- Perez, J., & Senemt, J. (2017). *Curvas intensidad-duración-frecuencia de tormentas de corta duración en la cuenca del río Segura*. España.
- Pérez, J., Castillo, M., & Salazar, A. (2021). *Aplicación del Método Témez para la Estimación de Caudales Máximos en la Cuenca del Río Rímac*.
- Pértegas, S., & Pita, S. (2001). *La distribución normal*. Cad Aten Primaria 2001, 8, 268-274.
- Pineda, A. J. (24 de 04 de 2024). Obtenido de <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-limosos/>

- Ramirez, C. F. (2020). *Determinación de la Calidad del Agua Potable en el distrito de Paucarcolla-Puno-2019*. Perú.
- Rogers, S. (2012). *ProFantasy Software Ltd. [En línea]*. Obtenido de <http://rpgmaps.profantasy.com/?p=2017>
- Rojas, M., Vargas, L., & Quispe, D. (2022). *Estimación de Caudales Máximos en la Cuenca del Río Chillón Utilizando el Método de Témez*.
- Sarmiento, H. Y. (2024). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS HIDROLÓGICOS PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE DISCRETIZACIÓN APLICADOS A LA CUENCA DEL RIO COATA*. Puno.
- Silva, R. (2019). *Generación de información hidrométrica con fines de aprovechamiento hídrico para la cuenca El Porvenir distrito de Huarango*. Cajamarca.
- Sotmayor, P. G. (2019). *Adaptación de los recursos hídricos al cambio climático: aplicación de modelos hidrológicos al caso de la cuenca del río Babahoyo*. Ecuador.
- Sotomayor. (2019). *Adaptacion de los recursos hidricos al cambio climatico*. Ecuador.
- Valer, M. J. (2021). *Evaluación de volúmenes de vinaza sobre la erosión hídrica de suelo*. Lima - Perú.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología*. Facultad de ingeniería Civil UNC.
- Zaragoza, P. E. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociación con las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla*. Mexico.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Félix Cueva, L. (2024). *Estudio de la escorrentía en una cuenca del rio Huacarmayo a través de la aplicación de un simulador de lluvia - Huánuco - 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1744-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 15 de agosto de 2024

Visto, el Oficio N° 1206-2024-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: **"ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Luigi FELIX CUEVA**.

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° 0856-2024-D-FI-UDH, de fecha 23 de abril de 2024, perteneciente a la Bach. **Luigi FELIX CUEVA** se le designó como ASESOR(A) al Dr. Carlos Esteban Huaman Cuespan, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1206-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Luigi FELIX CUEVA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Luis Fernando Narro Jara (Presidente), Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Secretario) y Mg. Fatima Rosaria Cecilio Reyes (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: **"ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Luigi FELIX CUEVA** 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 Johana Manzano Lozano
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANATO DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Informado - Archivo.
BCR/BJML/vto.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1196-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 17 de junio de 2025

Visto, el Oficio N° 0713-2025-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 547173-0000003099, del Bach. Luigi FELIX CUEVA, quien solicita cambio de Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

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

Que, según el Expediente N° 547173-0000003099, presentado por el (la) Bach. Luigi FELIX CUEVA, quien solicita cambio de Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), y;

Que, con Resolución N° 0619-2025-D-FI-UDH, de fecha 08 de abril de 2025, en la cual se designa como Asesor de Tesis del Bach. Luigi FELIX CUEVA al Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarria, quien no dispone de tiempo para dicho asesoramiento, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 31 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. - DEJAR SIN EFECTO, la Resolución N° 0619-2025-D-FI-UDH, de fecha 08 de abril de 2025.

Artículo Segundo. - DESIGNAR, como nuevo Asesor de Tesis del Bach. Luigi FELIX CUEVA a la Mg. Daisy Guadalupe Granados Martinez, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Tercero. - 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
[Signature]
Ing. Ethel Patricia Montano Lazo
SECRETARIA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Mg. Rarcho Campos Ruiz
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:
Fac. de Ingeniería - PAIC- Asesor- Mat. y Reg.Acad. - Internado - Archivo.
BCR/RJM/rta

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 32

Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Problema General: ¿Cómo evaluar el comportamiento de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo utilizando un simulador de lluvia, con el fin de diseñar una defensa ribereña de control de cauces?	Objetivo General Evaluar el comportamiento de la escorrentía en una cuenca del río Huacarmayo utilizando un simulador de lluvia, con el fin de diseñar una defensa ribereña de control de cauces.	Hipótesis General H1: Si al calcular el caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo mediante un simulador de precipitaciones, se espera que la cantidad de precipitación registrada tenga una correlación directa con el caudal resultante en la cuenca.
Problemas Específicos: ¿Cómo determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo?	Objetivos Específicos Determinar la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.	Hipótesis Nula (H_0): No existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.
¿Cuáles son los valores de caudal con la intensidad de lluvia en la cuenca del río Huacarmayo?	Determinar los valores de caudal con la intensidad de lluvia en la cuenca del río Huacarmayo.	Hipótesis Alterna (H_1): Existe una correlación significativa entre la cantidad de precipitación registrada y el caudal resultante en la cuenca del río Huacarmayo.
¿Cuáles son las dimensiones de la estructura de defensa ribereña?	Determinar las dimensiones de la estructura de defensa ribereña	Hipótesis Específicas HE₁: Si se analiza la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía

generada en la cuenca del río Huacarmayo, se espera encontrar una correlación directa y significativa entre ambas variables.

Hipótesis Nula (H_{01}): No existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{11}): Existe una relación significativa entre la intensidad de la lluvia y la tasa de escorrentía en la cuenca del río Huacarmayo.

HE₂: Si se compara la intensidad de la lluvia con el caudal obtenido en la cuenca del río Huacarmayo, se espera que ambas variables mantengan una correlación positiva, indicando que a mayor intensidad de precipitación, mayor será el caudal del río.

Hipótesis Nula (H_{02}): No existe una correlación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{12}): Existe una correlación significativa entre la intensidad de la lluvia y el caudal del río Huacarmayo.

HE₃: Si se relacionan los caudales máximos obtenidos para distintos periodos de retorno con las

dimensiones de la estructura de defensa ribereña, se espera que el tamaño de la obra dependa directamente del caudal máximo proyectado.

Hipótesis Nula (H_{03}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña no dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Huacarmayo.

Hipótesis Alterna (H_{13}): Las dimensiones de la estructura de defensa ribereña dependen significativamente del caudal máximo obtenido para los diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Huacarmayo.

Variable dependiente

Caudal de salida en la cuenca del río Huacarmayo.

Variable independiente

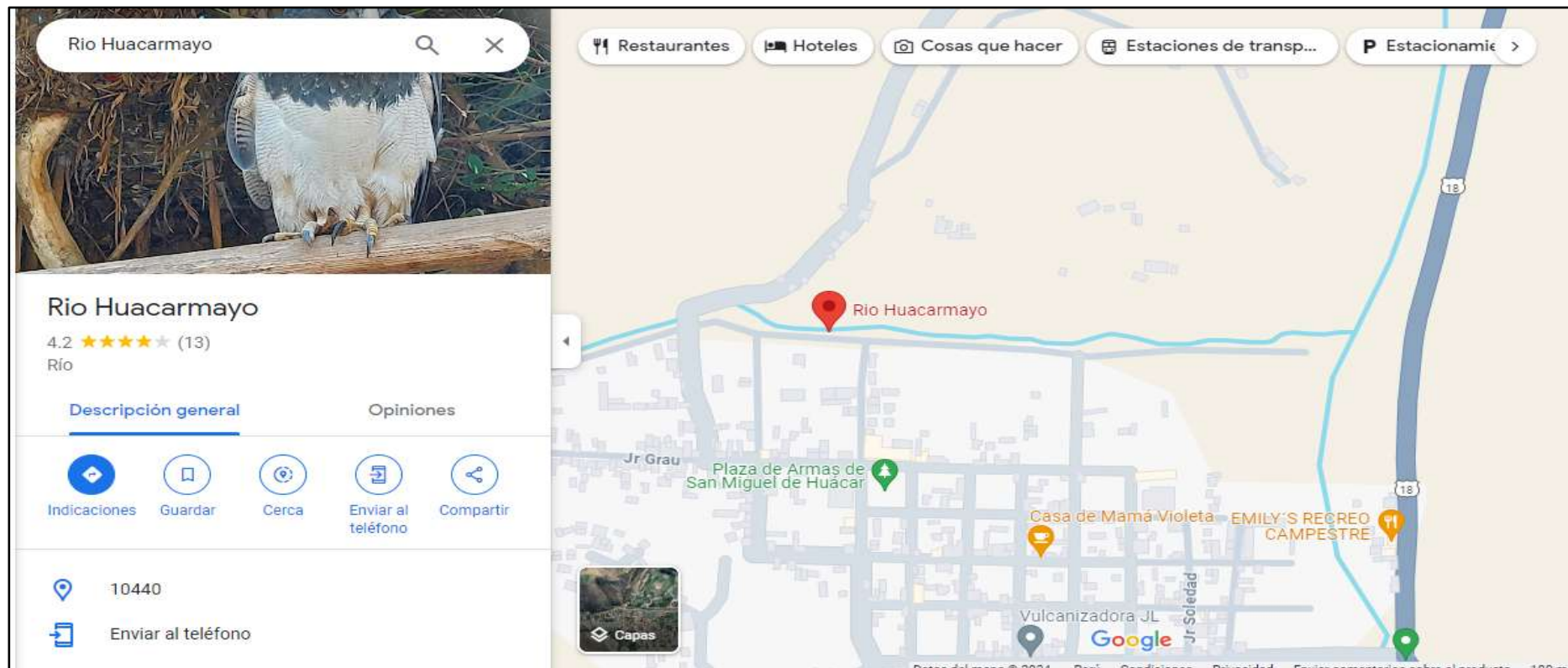
Cantidad de precipitación registrada.

ANEXO 4

PLANO DE UBICACIÓN

Figura 31

Imagen satelital



ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 32

Levantamiento topográfico con estación total



Figura 33

Montaje de estación total para levantamiento



Figura 34

Reconocimiento de campo del cauce y ribera del río Huacarmayo



Figura 35

Levantamiento cerca al puente Huacarmayo



Figura 36

Cause del rio Huacarmayo



Figura 37

Puente Huacarmayo



ANEXO 6

INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA TOPOGRAFÍA

DATOS DEL SENAMHI

Figura 38

Datos de la estación San Rafael del SENAMHI



" DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES
PARA MUJERES Y HOMBRE"



" AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

ESTACIÓN: SAN RAFAEL

LATITUD: 10° 19' 45.3"

Dto: Huánuco

LONGITUD: 76° 10' 35.7"

ALTITUD: 2699 MSNM

Precipitación Total Mensual (m.m)

Periodo: 2000 - 2024

CODIGO	PLAN	VAR	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
552	52	PT101	2000	119.9	100.9	158.6	47.5	9.7	20.5	5.4	35.0	22.1	46.2	33.4	113.1
552	52	PT101	2001	125.4	100.9	134.0	72.1	10.5	11.1	26.5	13.0	28.0	68.9	104.6	151.7
552	52	PT101	2002	35.1	88.0	157.8	38.6	32.2	3.2	30.3	1.2	17.5	106.8	63.0	135.4
552	52	PT101	2003	67.1	47.3	116.5	101.4	8.6	7.2	0.0	33.2	28.6	19.4	83.3	126.8
552	52	PT101	2004	40.2	84.3	60.7	53.5	45.7	16.7	5.0	9.5	45.0	66.0	86.3	172.9
552	52	PT101	2005	71.5	100.4	125.5	S/D	1.9	0.0	4.4	16.4	30.1	55.2	67.8	72.7
552	52	PT101	2006	112.0	68.7	104.6	54.2	0.9	9.7	5.8	9.8	22.1	64.3	97.9	96.9
552	52	PT101	2007	93.6	18.9	157.3	47.4	18.5	0.7	41.0	3.7	21.7	67.4	70.3	114.6
552	52	PT101	2008	100.2	133.2	58.8	35.4	21.2	14.5	1.9	3.9	89.4	84.8	42.3	100.2
552	52	PT101	2009	84.9	75.2	108.8	44.0	54.1	8.6	21.8	13.8	25.2	42.9	97.5	114.7
552	52	PT101	2010	134.9	133.6	111.1	78.3	24.9	5.2	10.6	5.4	9.9	43.9	43.1	134.2
552	52	PT101	2011	125.7	116.7	104.9	53.4	33.7	1.0	1.6	5.2	32.4	66.2	49.4	157.3
552	52	PT101	2012	85.1	123.2	63.0	111.6	12.1	30.2	3.3	11.2	8.3	77.2	83.8	223.0
552	52	PT101	2013	94.0	135.9	123.1	71.4	11.9	16.9	7.5	39.4	24.5	104.3	96.5	175.6
552	52	PT101	2014	110.1	155.5	134.2	44.5	37.3	3.0	0.0	11.5	81.0	19.5	51.4	72.4
552	52	PT101	2015	97.4	50.7	81.8	57.0	50.6	0.7	6.9	7.7	12.8	25.3	73.6	88.6
552	52	PT101	2016	49.6	148.5	63.9	61.9	16.4	1.5	2.2	2.2	9.4	75.2	53.9	122.6
552	52	PT101	2017	109.6	104.8	139.5	36.9	45.2	1.3	14.0	8.6	45.4	62.3	54.9	149.6
552	52	PT101	2018	118.8	124.5	162.0	81.3	20.4	20.5	15.8	12.8	22.5	124.8	87.2	83.6
552	52	PT101	2019	162.3	S/D	167.0	76.0	23.1	4.8	6.8	0.8	26.7	62.3	46.2	171.9
552	52	PT101	2020	43.6	132.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
552	52	PT101	2021	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	69	S/D	68.4
552	52	PT101	2022	102	127.8	S/D	50.1	18.4	6.8	12.5	8.9	26.9	87.9	82.1	112.2
552	52	PT101	2023	60.8	70.7	115.9	28.6	50.7	2.7	0.0	34.3	7.9	43.2	80.0	103.2
552	52	PT101	2024	158.8	126.1	112.9	33.5	S/D	9.0	0.1	8.3	10.4	52.4	117.6	63.4

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : FÉLIX CUEVA LUIGI.

TESIS: "ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA DEL RIO HUACARMAYO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA - HUÁNUCO - 2024"

RECALCULO DE INTENSIDADES

Figura 39

Recalculo de Intensidades para 5 años

Periodo de retorno para T = 5 años						
N°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	199.8867	1.6094	5.2978	8.5264	2.5903
2	20	70.6706	2.9957	4.2580	12.7559	8.9744
3	40	42.0210	3.6889	3.7382	13.7897	13.6078
4	60	31.0026	4.0943	3.4341	14.0603	16.7637
5	90	22.8733	4.4998	3.1300	14.0843	20.2483
6	120	18.4342	4.7875	2.9142	13.9518	22.9201
7	180	13.6006	5.1930	2.6101	13.5542	26.9668
8	240	10.9611	5.4806	2.3943	13.1226	30.0374
9	300	9.2719	5.7038	2.2270	12.7023	32.5331
10	360	8.0869	5.8861	2.0903	12.3034	34.6462
11	720	4.8085	6.5793	1.5704	10.3320	43.2865
12	1440	2.8592	7.2724	1.0505	7.6399	52.8878
12	3575	434.4767	57.7908	34.7148	146.8226	305.4624
Ln (d) = 6.5048		d = 668.3614		n = -0.7500		

Figura 40

Recalculo de Intensidades para 10 años

Periodo de retorno para T = 10 años						
N°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	212.6454	1.6094	5.3596	8.6260	2.5903
2	20	75.1815	2.9957	4.3199	12.9413	8.9744
3	40	44.7032	3.6889	3.8000	14.0179	13.6078
4	60	32.9815	4.0943	3.4959	14.3136	16.7637
5	90	24.3333	4.4998	3.1918	14.3627	20.2483
6	120	19.6109	4.7875	2.9761	14.2480	22.9201
7	180	14.4687	5.1930	2.6720	13.8755	26.9668
8	240	11.6607	5.4806	2.4562	13.4617	30.0374
9	300	9.8638	5.7038	2.2889	13.0552	32.5331
10	360	8.6031	5.8861	2.1521	12.6676	34.6462
11	720	5.1155	6.5793	1.6323	10.7391	43.2865
12	1440	3.0417	7.2724	1.1124	8.0899	52.8878
12	3575	462.2092	57.7908	35.4573	150.3985	305.4624
Ln (d) = 6.5667		d = 711.0227		n = -0.7500		

Figura 41

Recalculo de Intensidades para 20 años

Periodo de retorno para T = 20 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	223.5690	1.6094	5.4097	8.7066	2.5903
2	20	79.0436	2.9957	4.3700	13.0913	8.9744
3	40	46.9996	3.6889	3.8501	14.2027	13.6078
4	60	34.6757	4.0943	3.5460	14.5187	16.7637
5	90	25.5833	4.4998	3.2419	14.5881	20.2483
6	120	20.6183	4.7875	3.0262	14.4878	22.9201
7	180	15.2119	5.1930	2.7221	14.1356	26.9668
8	240	12.2597	5.4806	2.5063	13.7362	30.0374
9	300	10.3705	5.7038	2.3390	13.3409	32.5331
10	360	9.0451	5.8861	2.2022	12.9625	34.6462
11	720	5.3782	6.5793	1.6824	11.0687	43.2865
12	1440	3.1979	7.2724	1.1625	8.4542	52.8878
12	3575	485.9528	57.7908	36.0585	153.2934	305.4624
Ln (d) = 6.6168		d = 747.5479		n = -0.7500		

Figura 42

Recalculo de Intensidades para 25 años

Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	227.0936	1.6094	5.4254	8.7318	2.5903
2	20	80.2897	2.9957	4.3856	13.1382	8.9744
3	40	47.7406	3.6889	3.8658	14.2604	13.6078
4	60	35.2224	4.0943	3.5617	14.5828	16.7637
5	90	25.9867	4.4998	3.2576	14.6585	20.2483
6	120	20.9434	4.7875	3.0418	14.5627	22.9201
7	180	15.4518	5.1930	2.7377	14.2169	26.9668
8	240	12.4530	5.4806	2.5220	13.8220	30.0374
9	300	10.5340	5.7038	2.3546	13.4301	32.5331
10	360	9.1877	5.8861	2.2179	13.0546	34.6462
11	720	5.4630	6.5793	1.6980	11.1716	43.2865
12	1440	3.2483	7.2724	1.1781	8.5679	52.8878
12	3575	493.6141	57.7908	36.2462	154.1974	305.4624
Ln (d) = 6.6324		d = 759.3333		n = -0.7500		

Figura 43*Recalculo de Intensidades para 50 años*

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	236.2694	1.6094	5.4650	8.7955	2.5903
2	20	83.5339	2.9957	4.4253	13.2569	8.9744
3	40	49.6695	3.6889	3.9054	14.4065	13.6078
4	60	36.6456	4.0943	3.6013	14.7449	16.7637
5	90	27.0367	4.4998	3.2972	14.8367	20.2483
6	120	21.7896	4.7875	3.0814	14.7523	22.9201
7	180	16.0761	5.1930	2.7773	14.4226	26.9668
8	240	12.9562	5.4806	2.5616	14.0391	30.0374
9	300	10.9596	5.7038	2.3942	13.6561	32.5331
10	360	9.5589	5.8861	2.2575	13.2877	34.6462
11	720	5.6838	6.5793	1.7376	11.4322	43.2865
12	1440	3.3796	7.2724	1.2178	8.8560	52.8878
12	3575	513.5587	57.7908	36.7215	156.4865	305.4624
Ln (d) = 6.6721 d = 790.0144 n = -0.7500						

Figura 44*Recalculo de Intensidades para 75 años*

Periodo de retorno para T = 75 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	241.4545	1.6094	5.4867	8.8305	2.5903
2	20	85.3670	2.9957	4.4470	13.3219	8.9744
3	40	50.7596	3.6889	3.9271	14.4866	13.6078
4	60	37.4498	4.0943	3.6230	14.8338	16.7637
5	90	27.6300	4.4998	3.3189	14.9344	20.2483
6	120	22.2678	4.7875	3.1031	14.8563	22.9201
7	180	16.4289	5.1930	2.7990	14.5353	26.9668
8	240	13.2405	5.4806	2.5833	14.1580	30.0374
9	300	11.2001	5.7038	2.4159	13.7799	32.5331
10	360	9.7687	5.8861	2.2792	13.4155	34.6462
11	720	5.8085	6.5793	1.7593	11.5750	43.2865
12	1440	3.4538	7.2724	1.2395	9.0139	52.8878
12	3575	524.8291	57.7908	36.9820	157.7411	305.4624
Ln (d) = 6.6938 d = 807.3517 n = -0.7500						

Figura 45

Recalculo de Intensidades para 100 años

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	5	245.0083	1.6094	5.5013	8.8540	2.5903
2	20	86.6235	2.9957	4.4616	13.3657	8.9744
3	40	51.5066	3.6889	3.9417	14.5405	13.6078
4	60	38.0010	4.0943	3.6376	14.8936	16.7637
5	90	28.0367	4.4998	3.3335	15.0002	20.2483
6	120	22.5955	4.7875	3.1178	14.9262	22.9201
7	180	16.6707	5.1930	2.8137	14.6112	26.9668
8	240	13.4354	5.4806	2.5979	14.2381	30.0374
9	300	11.3649	5.7038	2.4305	13.8632	32.5331
10	360	9.9125	5.8861	2.2938	13.5015	34.6462
11	720	5.8940	6.5793	1.7739	11.6711	43.2865
12	1440	3.5046	7.2724	1.2541	9.1201	52.8878
12	3575	532.5536	57.7908	37.1573	158.5854	305.4624
Ln (d) = 6.7084		d = 819.2346		n = -0.7500		

Figura 46

Resultado de recalculo de Intensidades

DURACIÓN		T años						
min	hr	20.00	25.00	50.00	100.00	5.00	10.00	75.00
5	0.08	223.57	227.09	236.27	245.01	199.89	212.65	241.45
20	0.33	79.04	80.29	83.53	86.62	70.67	75.18	85.37
40	0.67	47.00	47.74	49.67	51.51	42.02	44.70	50.76
60	1.00	34.68	35.22	36.65	38.00	31.00	32.98	37.45
90	1.50	25.58	25.99	27.04	28.04	22.87	24.33	27.63
120	2.00	20.62	20.94	21.79	22.60	18.43	19.61	22.27
180	3.00	15.21	15.45	16.08	16.67	13.60	14.47	16.43
240	4.00	12.26	12.45	12.96	13.44	10.96	11.66	13.24
300	5.00	10.37	10.53	10.96	11.36	9.27	9.86	11.20
360	6.00	9.05	9.19	9.56	9.91	8.09	8.60	9.77
720	12.00	5.38	5.46	5.68	5.89	4.81	5.12	5.81
1440	24.00	3.20	3.25	3.38	3.50	2.86	3.04	3.45

PRUEBA DE NORMALIDAD

Figura 47

Datos SPSS

*Estadistica.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Vent

18 :

	Pe_efec	Caudal	Intensidad	Pe	Alutra	Base	var
1	326,57	58,77	18,43	68,62	3,21	4,81	
2	353,15	62,52	19,61	73,00	3,33	5,00	
3	376,00	65,73	20,62	76,75	3,43	5,15	
4	383,39	66,77	20,94	77,96	3,46	5,20	
5	402,66	69,46	21,79	81,11	3,55	5,32	
6	413,57	70,99	22,27	82,89	3,59	5,39	
7	421,05	72,03	22,60	84,11	3,63	5,44	
8							

Figura 48

Prueba de Normalidad SPSS

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pe_efec	,154	7	,200 [*]	,951	7	,737
Caudal	,154	7	,200 [*]	,950	7	,733
Intensidad	,154	7	,200 [*]	,951	7	,735
Pe	,154	7	,200 [*]	,950	7	,733

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

COEFICIENTE DE PEARSON

Figura 49

Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis General

Correlaciones

		Pe	Caudal
Pe	Correlación de Pearson	1	,998**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	7	7
Caudal	Correlación de Pearson	,998**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	7	7

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 50

Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Especifica 1

		Intensidad	Pe_efec
Intensidad	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	7	7
Pe_efec	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	7	7

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 51

Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Específica 2

		Intensidad	Caudal
→ Intensidad	Correlación de Pearson	1	,996**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	7	7
Caudal	Correlación de Pearson	,996**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	7	7

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 52

Empleado en SPSS el coef de Pearson para la Hipótesis Específica 3

		Caudal	Alutra	Base
→ Caudal	Correlación de Pearson	1	,997**	,985**
	Sig. (bilateral)		<.001	<.001
	N	7	7	7
Alutra	Correlación de Pearson	,997**	1	,992**
	Sig. (bilateral)	<.001		<.001
	N	7	7	7
Base	Correlación de Pearson	,985**	,992**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	<.001	
	N	7	7	7

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).