

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Aplicación de metodologías geoespaciales para la
zonificación de llanuras inundables del río Huallaga en el
centro poblado Juan Velasco Alvarado-Ambo-Huánuco-2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Zavala Berrospi, Nathaly Fabiola

ASESORA: Trujillo Ariza, Yelen Lisseth

HUÁNUCO – PERÚ

2023



U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

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

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70982296

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70502371

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-5650-3745

H

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Valdivieso Echevarría, Martin César	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Dávila Herrera, Percy Mello	Ingeniero civil	41050949	0000-0003-3299-4655

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 16:15 horas del día **martes 19 de diciembre de 2023**, 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. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS - PRESIDENTE
- ❖ MG. MARTÍN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA - SECRETARIO
- ❖ ING. PERCY MELLO DÁVILA HERRERA - VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 3100 -2023-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. ZAVALA BERROSPI, NATHALY FABIOLA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

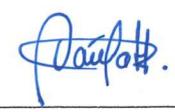
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

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

Siendo las **17:05** horas del día 19 del mes de diciembre del año 2023, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


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


MG. MARTÍN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA
ORCID: 0000-0002-0579-5135
Secretario


ING. PERCY MELLO DÁVILA HERRERA
ORCID: 0000-0001-5484-6982
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, **Mg. YELEN LISSETH, TRUJILLO ARIZA**, Ingeniero asesor del Programa Académico de Ingeniería Civil. Designado mediante RESOLUCIÓN No 042-2023-D-FI-UDH de la Bach. ZAVALA BERROSPI NATHALY FABIOLA de la investigación titulada:

“APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023”

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio 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, 19 de Febrero de 2024

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA

Asesor

DNI: 70502371
CODIGO ORCID: 0000-0002-5650-37

“APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

5

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1%

7

archive.org

Fuente de Internet

<1%

idoc.pub

MG. YELLEN LISSETH TRUJILLO ARIZA

DNI: 70502371

CODIGO ORCID: 0000-0002-5650-3745

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han brindado un amor incondicional y han sido mi fuente constante de inspiración, les dedico este logro. Su infinita confianza en mí y su sacrificio incansable han sido el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes.

A mis profesores y mentores, cuya sabiduría y guía han sido fundamentales en mi crecimiento académico. Su compromiso con la excelencia y su dedicación a la enseñanza me han ayudado a desarrollar habilidades críticas y a superar obstáculos en el camino hacia la investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis profesores y asesores, cuya orientación y conocimientos me han guiado en cada paso del proceso. También agradezco a los participantes de mi estudio, cuya colaboración y disposición han sido fundamentales para la recopilación de datos. Agradezco a mis amigos y familiares por su apoyo incondicional y palabras de aliento en los momentos más desafiantes. Por último, pero no menos importante, me agradezco a mí misma por mi dedicación y perseverancia en la consecución de este objetivo académico.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	17
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	18
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	27
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	31
2.2. BASES TEÓRICAS.....	34
2.2.1. HIDROLOGÍA	34
2.2.2. ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE HIDROLOGÍA	36

2.2.3.	APLICACIONES HIDROLÓGICAS	37
2.2.4.	RAMAS DE ESTUDIO DE LA HIDROLOGÍA.....	39
2.2.5.	CUENCA.....	39
2.2.6.	DIVISORIA DE CUENCAS	41
2.2.7.	CLASIFICACIÓN DE CURSOS DE AGUA	41
2.2.8.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA.....	42
2.2.9.	PRECIPITACIÓN	49
2.2.10.	MEDICIÓN DE PRECIPITACIONES.....	50
2.2.11.	DATOS FALTANTES	51
2.2.12.	ANÁLISIS DE DOBLE MASA	51
2.2.13.	ESTADÍSTICA DE DATOS HIDROLÓGICOS	52
2.2.14.	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD EN HIDROLOGÍA	53
2.2.15.	PRECIPITACIÓN MEDIA SOBRE LA CUENCA	54
2.2.16.	ANÁLISIS DE INTENSIDADES DE LLUVIA	56
2.2.17.	ANÁLISIS DE INTENSIDADES	58
2.2.18.	CÁLCULO DE CRECIENTES	59
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	64
2.4.	HIPÓTESIS	65
2.4.1.	HIPÓTESIS PRINCIPAL	65
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	65
2.5.	VARIABLES	66
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	66
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	66
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	66
CAPÍTULO III		68
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		68
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	68
3.1.1.	ENFOQUE	68
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	68
3.1.3.	DISEÑO	68
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	69
3.2.1.	POBLACIÓN.....	69

3.2.2. MUESTRA	69
3.3. TÉCNICASE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	69
3.3.1. TÉCNICAS.....	69
3.3.2. INSTRUMENTOS	74
CAPÍTULO IV.....	78
RESULTADOS	78
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	78
4.1.1. CUENCA.....	78
4.1.2. LLUVIAS	84
4.1.3. INTENSIDADES	92
4.1.4. CAUDALES	96
4.1.5. INUNDACIONES	98
4.1.6. CARTOGRAFÍA.....	99
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	102
4.2.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL	102
4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	105
CAPÍTULO V.....	110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	110
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES.....	114
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Hidrología aplicada en múltiples procesos	37
Tabla 2 Tipo de Material.....	49
Tabla 3 Comparativa entre serie anual y parcial	57
Tabla 4 Criterios para periodo de retorno.....	60
Tabla 5 Tiempo de concentración	62
Tabla 6 Rugosidad de Manning para Hathaway.....	62
Tabla 7 Valores de C para Ziegler.....	63
Tabla 8 Operacionalización de variables.....	66
Tabla 9 Esquema de parámetros geomorfológicos de cuenca	71
Tabla 10 Valores de Caudal	72
Tabla 11 Áreas de inundación y faja marginal.....	72
Tabla 12 Esquema de presentación de datos de precipitación	73
Tabla 13 Esquema para organización de información pluviométrica	76
Tabla 14 Esquema de registro de lluvias	76
Tabla 15 Parámetros geomorfológicos de la cuenca	80
Tabla 16 Valores paramétricos para el cálculo del coeficiente de escorrentía	83
Tabla 17 Valores de tiempo de concentración.....	84
Tabla 18 Ubicación de estaciones pluviométricas.....	85
Tabla 19 Estación Canchán con valores corregidos y completados	85
Tabla 20 Estación ficticia en el centroide de cuenca.....	86
Tabla 21 Información de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua	87
Tabla 22 Datos de precipitación máxima	90
Tabla 23 Datos de precipitación máxima	91
Tabla 24 Valores de precipitación en diferentes periodos de retorno.....	91
Tabla 25 Valores de precipitación con coeficiente de reajuste	92
Tabla 26 Valores de caudal para diferentes periodos de retorno	97
Tabla 27 Resumen de fajas de inundación	102
Tabla 28 Valores de parámetros geométricos.....	103
Tabla 29 Tiempo de concentración	103
Tabla 30 Caudales de diseño.....	103

Tabla 31 Resumen de fajas de inundación	105
Tabla 32 Datos de precipitación máxima	107
Tabla 33 Valores de caudal para diferentes periodos de retorno	107
Tabla 34 Resumen de fajas de inundación	108
Tabla 35 Parámetros de altura	123
Tabla 36 Red hídrica	123
Tabla 37 Pendiente	124
Tabla 38 Clasificación de suelos	124
Tabla 39 Tipo de suelo	124
Tabla 40 Coeficiente de Escorrentía	125
Tabla 41 Número de curva	125
Tabla 42 Tiempo de concentración	125
Tabla 43 Estación Canchán	125
Tabla 44 Estación Huánuco	126
Tabla 45 Estación San Rafael	127
Tabla 46 Estación Tingo María	128
Tabla 47 Estación Tulumayo	128
Tabla 48 Estación Pisco	129
Tabla 49 Estación promedio	130
Tabla 50 Precipitación consolidada	130
Tabla 51 Análisis de doble masa	131
Tabla 52 Distribución Normal	132
Tabla 53 Distribución Log-Normal 2P	132
Tabla 54 Distribución Log-Normal 3P	133
Tabla 55 Distribución Gamma 2P	133
Tabla 56 Distribución Gamma 3P	134
Tabla 57 Distribución Gumbel	134
Tabla 58 Distribución Log-Gumbel	135
Tabla 59 Valores de intensidades	135
Tabla 60 Coeficientes de Intensidad	136
Tabla 61 Cuadro de intensidades	136
Tabla 62 Hietograma PR=10 años	137
Tabla 63 Hietograma PR=25 años	138
Tabla 64 Hietograma PR=50 años	139

Tabla 65 Hietograma PR=100 años	139
Tabla 66 Hietograma PR=500 años	140
Tabla 67 Caudales PR=10 años	141
Tabla 68 Caudales PR=25 años	141
Tabla 69 Caudales PR=50 años	142
Tabla 70 Caudales PR=100 años	142
Tabla 71 Caudales PR=500 años	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema hidrológico	35
Figura 2 Proceso de escorrentía.....	35
Figura 3 Esquema de volumen de control	36
Figura 4 Esquemas de aplicación.....	39
Figura 5 Perfil de una cuenca	41
Figura 6 Representación de una cuenca	42
Figura 7 Orden de corrientes	43
Figura 8 Longitud promedio de escorrentía en la superficie	44
Figura 9 Sinuosidad	45
Figura 10 Curva de pendientes.....	45
Figura 11 Curva de hipsométrica	46
Figura 12 Curva de hipsométrica con valles extensos.....	46
Figura 13 Curva de hipsométrica con valles profundos	47
Figura 14 Pendiente.....	48
Figura 15 Rectángulo equivalente	48
Figura 16 Registros pluviográficos.....	50
Figura 17 Análisis de doble masa	51
Figura 18 Polígono de Thiessen	55
Figura 19 Isoyetas	56
Figura 20 Curvas IDF.....	58
Figura 21 Hietograma	59
Figura 22 Análisis de costos	60
Figura 23 Visita a campo	70
Figura 24 Servidor de descarga de imágenes satelitales	70
Figura 25 Esquema cartográfico.....	73
Figura 26 Registro histórico de precipitaciones SENAMHI	74
Figura 27 Interfaz de software ArcGIS	75
Figura 28 Delimitación de cuenca.....	78
Figura 29 Identificación de altitudes de la cuenca	79
Figura 30 Red hídrica y pendiente de cuenca de interés.....	79
Figura 31 Cobertura Vegetal de cuenca de interés.....	81
Figura 32 Tipo de suelo de la cuenca de interés	82

Figura 33 Clasificación del Número de Curva de la cuenca de interés	82
Figura 34 Ubicación de estaciones pluviométricas	84
Figura 35 Resumen gráfico de precipitaciones por estación	89
Figura 36 Resumen gráfico de precipitaciones por estación	89
Figura 37 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años....	93
Figura 38 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años....	93
Figura 39 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años....	94
Figura 40 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años..	95
Figura 41 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años..	95
Figura 42 Interfáz HEC-HMS	96
Figura 43 Estimación de caudales para un PR=50 años	97
Figura 44 Área de interés	98
Figura 45 Estimación de base para PR=500 años.....	98
Figura 46 Área de inundación para un PR=10 años	99
Figura 47 Área de inundación para un PR=25 años	100
Figura 48 Área de inundación para un PR=50 años	100
Figura 49 Área de inundación para un PR=100 años	101
Figura 50 Área de inundación para un PR=500 años	101
Figura 51 Área de inundación para un PR=100 años	104
Figura 52 Resumen gráfico de precipitaciones por estación	105
Figura 53 Resumen gráfico de precipitaciones por estación	106
Figura 54 Ubicación de la zona de investigación.....	122
Figura 55 Curva hipsométrica	123
Figura 56 Curvas IDF.....	137

RESUMEN

El presente estudio, tuvo como objetivo principal determinar las llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga, específicamente en el tramo correspondiente al centro poblado Juan Velasco Alvarado, ubicado en Ambo. Para el cumplimiento de este objetivo, se aplicaron metodologías geoespaciales, incluyendo análisis de imágenes cartográficas, sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos. Se recolectó información pluviométrica de diversas estaciones en la zona, como Canchán, Huánuco, San Rafael, Tingo María y Tulumayo, además se utilizó esta información para interpolar valores de precipitación en el centroide de la cuenca. Los valores de precipitación obtenidos fueron utilizados para estimar caudales críticos para diferentes periodos de retorno. Los resultados de la investigación indicaron que las llanuras de inundación generadas por el río Huallaga en el tramo del centro poblado Juan Velasco Alvarado tienen un área de 0.083, 0.088, 0.092, 0.0943 y 0.1072 km² para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, respectivamente. Asimismo, se identificaron las áreas más afectadas por las inundaciones mediante imágenes cartográficas. Con los resultados se identificó y recomendó que es necesario implementar políticas de control y prevención en la zona, especialmente en el margen izquierdo del río Huallaga, donde se encuentra gran parte de la población afectada. Se sugiere la implementación de un sistema de alerta temprana como una medida adecuada para mitigar los efectos de las inundaciones. Este estudio contribuyó al conocimiento sobre el riesgo de inundaciones en la zona de estudio y proporciona información relevante para la planificación y gestión del riesgo de desastres naturales en el centro poblado Juan Velasco Alvarado, Ambo, Huánuco.

Palabras Clave: Metodología geoespacial, Huallaga, Llanura de inundación, caudales críticos, precipitación.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the flood plains in the Huallaga River channel, specifically in the section corresponding to the town center of Juan Velasco Alvarado, located in Ambo. To achieve this objective, geospatial methodologies are applied, including analysis of cartographic images, geographic information systems and hydrological models. Pluviometric information was collected from various stations in the area, such as Canchán, Huánuco, San Rafael, Tingo María and Tulumayo, and this information was used to interpolate precipitation values in the centroid of the basin. The production values obtained were used to estimate critical flows for different return periods. The results of the research indicated that the flood plains generated by the Huallaga River in the section of the Juan Velasco Alvarado town center have an area of 0.083, 0.088, 0.092, 0.0943 and 0.1072 km² for the return periods of 10, 25, 50, 100 and 500 years, respectively. Likewise, the areas most affected by floods were identified through cartographic images. With the results, it was identified and recommended that it is necessary to implement control and prevention policies in the area, especially on the left bank of the Huallaga River, where a large part of the affected population is located. The implementation of an early warning system is suggested as an appropriate measure to mitigate the effects of floods. This study contributed to knowledge about the risk of flooding in the study area and provides relevant information for the planning and management of the risk of natural disasters in the Juan Velasco Alvarado population center, Ambo, Huánuco.

Keywords: Geospatial methodology, Huallaga, floodplain, critical flows, precipitation.

INTRODUCCIÓN

La investigación planteó determinar, partiendo de metodologías geoespaciales, las llanuras de inundación, que comprenden un tramo de 800 metros del río Huallaga, dicho tramo está en la localidad de Ambo; en el centro poblado Juan Velasco Alvarado. Además de la determinación de las llanuras de inundación, se plantearon: esquemas para recoger la información de precipitaciones, establecer y contrastar los niveles de correlación y confiabilidad de los datos de lluvia recolectados para la investigación, estimar los valores de caudal establecidos en diferentes periodos de retorno a partir de la proyección de valores estimados, diseñar un modelo de simulación para determinar las llanuras de inundación creadas desde el desborde del río Huallaga en la zona de interés y planear medidas no estructurales para mitigar los efectos adversos de las inundaciones en la zona de investigación. Siendo así la presente investigación se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I: En este apartado de la investigación se presentó y fundamentó la situación problemática en la cual se centra la investigación, así como también el planteamiento de los objetivos tanto el general como los específicos.

Capítulo II: En este apartado se estructuró el marco teórico sobre el que se fundamentan los lineamientos conceptuales de la investigación y la presentación de la hipótesis a juicio en la investigación.

Capítulo III: En este apartado se presentó el marco metodológico que sirvió de esquema de investigación y que establece los procedimientos para obtener resultados.

Capítulo IV: En este apartado se presentó de manera íntegra los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los conceptos del marco teórico, así como la aplicación de metodologías establecidas en el capítulo anterior.

Capítulo V: En este apartado se presenta la discusión de los resultados a partir de la comparación con lo obtenido en los antecedentes, para con ello establecer un valor en contraste con lo obtenido.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Alarcón (2019) plantea que, a partir de las interacciones antropogénicas con el territorio que habitan se generan alteraciones topográficas y de las características de cobertura de suelo, estas alteraciones generan un cambio en las características del ambiente que a la larga generan un entorno que facilita las consecuencias destructivas que se generan por el efecto de eventos naturales destructivos como las inundaciones, si bien los eventos de inundaciones se han registrado a lo largo de toda la existencia humana se puede evidenciar un incremento alarmante de este tipos de eventos los cuales generalmente registran pérdidas humanas, materiales y económicas. En la actualidad los eventos de inundaciones se presentan desde zonas rurales sin una presencia de estructuras de control hidráulico hasta las zonas más urbanizadas y con un desarrollo de infraestructura más desarrollada. En los países de China, Estados Unidos, Brasil y Guatemala el incremento de ocurrencias de inundaciones es alta, generalmente estas son causadas por precipitaciones o ciclones que generan un incremento en los volúmenes de caudales que transportan los ríos que atraviesan esos países. Solo para la década de 1990 Asia sufrió eventos de inundación los cuales generaron alrededor de 7,000 muertos, una estimación de 6,000,000 viviendas afectadas y alrededor de 25,000,000 de zonas de cultivo arrasadas por los desbordes de los ríos que recorren el país en cuestión. Los países que más afectaciones presentaron fue los de Bangladesh, China, India y Vietnam. El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2023) estima que, para el trimestre de marzo a mayo del 2023 en todo el país hay un área total de 4,229 km² con una alta susceptibilidad frente a inundaciones, con dicho planteamiento se pudo identificar que la región con mayor área de inundación es la región de Piura con un área total de 1,956 km², seguido de la región de Ancash con un área de 526 km², luego la región de la Libertad con 497 km². Con la caracterización completa en dichas zonas se lograron identificar un total de 559 zonas críticas y 39 puntos críticos registrados por la

ANA y el INGEMET respectivamente. Frente al análisis trimestral realizado en el informe se pudo llevar un registro estadístico que se encuentran vulnerables en la zona costa, norte y centro en donde se prevé que la presencia de lluvias anormales, de conteo se tuvo un total de 684,601 personas, 174,304 viviendas, 327 establecimientos de salud y 1,262 instituciones educativas con un riesgo alto frente a inundaciones. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (2011), se pudo registrar que para la región de Huánuco en el año 2006 a partir de eventos de precipitaciones anómalas se registraron afectaciones en los distritos de Rupa Rupa, Luyando, José Crespo y Castillo, Hermilio Valdizán, Alomía Robles, Monzón, Cholón. De las precipitaciones que se originaron en la región se pudo identificar que estas tuvieron una influencia directa en el incremento de los caudales de los ríos Pachitea y Sungurayacu los que a su vez generaron un desborde por la saturación en la capacidad de transporte de río, estas inundaciones generaron afectaciones directas sobre las estructuras viales y sobre infraestructuras de la zona denominada Caserío de Santa Rosa. Para el año 2007 se pudo estimar que a causa de las crecidas en la región de Huánuco se presentaron un total de 2058 personas damnificadas, 8947 personas afectadas, alrededor de 644 viviendas destruidas, 2599 viviendas afectadas, realizando un conteo de 35 centros educativos afectados, alrededor de 0.10 km de carreteras destruidas, alrededor de 24 km de vías afectadas, 1 puente destruido, 5 puentes afectados, las áreas de cultivo perdidas se pudo cuantificar un total de 257 has, un total de 332.5 has afectadas, en el ámbito de ganadería se pudo cuantificar alrededor de 70 animales perdidos y alrededor de 1194 afectados. Con ello se pudo establecer que la región de Huánuco es propensa a presentar afectaciones generadas por eventos de inundaciones a partir de ahí se pudo identificar que en la zona del centro poblado de Juan Velasco Alvarado en la localidad de Ambo se registraron alertas frente a inundaciones en esta zona se pudo identificar que son zonas con alta probabilidad de inundaciones, considerando que en las periferias se presentan zonas habitadas se hace necesaria la evaluación de los efectos que se tengan y tomar medidas de mitigación de daños para la zona de interés.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera las metodologías geoespaciales ayudan en la determinación de las llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado en la localidad de Ambo?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿De qué manera se pueden encontrar los registros históricos de precipitaciones de los servidores nacionales?
- ¿Cómo elaborar un modelo de terreno en el cual se puedan establecer las características del suelo y altitudinales?
- ¿De qué manera influyen los valores de caudal crítico del río Huallaga para diferentes periodos de retorno?
- ¿Cómo elaborar un modelo de inundación frente a crecidas del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado?
- ¿De qué manera las medidas de control no estructurales ayudan en la prevención del riesgo de inundación en el centro poblado de Juan Velasco Alvarado?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar a partir de metodologías geoespaciales las llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado en la localidad de Ambo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar información de los registros históricos de precipitación de los servidores nacionales.
- Elaborar un modelo de terreno en el cual se puedan establecer las características del suelo y altitudinales.
- Calcular los valores de caudal crítico del río Huallaga para diferentes periodos de retorno.
- Elaborar un modelo de inundación frente a crecidas del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado.
- Plantear medidas de control no estructurales para la prevención del riesgo de inundación en el centro poblado de Juan Velasco Alvarado.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Con esta investigación se elaboró un modelo hidráulico para identificar las llanuras de inundación que se pueden generar en los márgenes del río Huallaga, estos valores pueden ser generalizados en otros tramos del río con características topográficas similares facilitando acondicionar modelos de zonas con similares características tanto topográficas como climatológicas y orográficas. Con esta investigación se pretendió generar conocimientos relativos a las precipitaciones con las inundaciones en la zona, planteando una mejor perspectiva de las características del fenómeno de precipitación anómala y su posterior consecuencia. La investigación planteó una hipótesis general la cual tendrá que ser sometida a una verificación y a partir de los resultados obtenidos de la investigación se pudo plantear recomendaciones para la ejecución de investigaciones relacionadas a la rama de la hidrología e hidráulica.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Esta investigación pretendió facilitar la elaboración de un modelo hidráulico simulado a partir de caudales críticos para establecer los puntos críticos de inundación y gestionar labores de mitigación y prevención de los efectos adversos que puedan generar. Aunque la investigación se centró solo en un tramo determinado del río Huallaga, el procedimiento podría replicarse y mejorarse para futuros modelos con la misma finalidad e incluso aplicarse en una zona diferente, pero con condiciones similares a la de la presente investigación.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La presente investigación tuvo como objetivo plantear una metodología específica y estructurada para la elaboración de modelos que ayuden a identificar las llanuras de inundación y con ello poder establecer parámetros comunes frente a posibles réplicas de la investigación, con esta investigación también se pretendió mejorar los procedimientos de relación entre datos pluviométricos e información de inundación en la elaboración de modelos.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Si bien la zona de interés se encontró dentro de uno de los ríos principales de la región no se presentaron estaciones en el punto en específico de interés de aforo para la recolección de información, no se contaron con valores de caudales medidos en un periodo de años considerable para elaborar un modelo hidrológico basado en caudales, sin embargo, esta información fue determinada a partir de información pluviográfica recolectada de los servidores estatales del país.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Si bien la investigación presentó limitaciones de información estas fueron calculadas y caracterizadas por la investigadora dando un modelo confiable y

aproximado a la realidad que presenta la zona, si bien la investigación presentó un tiempo de elaboración considerable este se encontró dentro de los rangos aceptados para la presentación final y el costo de ejecución de la investigación se encontró dentro de las posibilidades económicas de la investigadora, por ende esta investigación se pudo considerar viable en su realización.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según Martínez (2019), en la tesis titulada “Simulación numérica de inundaciones fluviales en las Omañas (León): Propuestas de medidas correctoras” presentada para optar el grado de doctor en la Universidad Politécnica de Madrid. La investigación fundamentalmente plantea los siguientes objetivos: determinar medidas para la solución de los efectos que presenten las inundaciones fluviales en la zona denominada Las Omañas, se plantean en complemento al objetivo principal el de analizar las medidas de configuración geográfica que presenta el entorno de interés tomando en cuenta la perspectiva de los usos de suelo, elaborar una caracterización geomorfológica de los ríos que comprenden la zona así como analizar los materiales que transporta como cantos rodados y el análisis de su petrografía, revisar los registros históricos de la zona en la cual se registren inundaciones y el periodo de tiempo en que se dieron, plantear una metodología fácil para la determinación de zonas inundables a partir del ingreso de una mínima cantidad de información, plantear una red de actuación frente a inundaciones en zonas con un alto grado de vulnerabilidad a inundaciones periódicas, determinar los parámetros fundamentales para la elaboración de investigaciones de la misma naturaleza que la presente investigación de forma que facilite el proceso de determinación en otras zonas de interés, indagar la influencia que se genera al introducir condiciones iniciales de secas o con valores de calados para la elaboración de la simulación y en otros factores de cálculo, identificar las deficiencias en el ordenamiento territorial de la zona promoviendo un adecuado uso de suelo que mitiguen los efectos de las inundaciones, alcanzar una reducción de los valores de peligro en la que se encuentra la zona teniendo en cuenta los factores de salud, economía y patrimonio, elaborar una descripción de las estrategias a tomar en cuenta para elaborar los parámetros de prevención en el rubro

estructural y no estructural y elaborar una simulación de los efectos que tengan la colocación de diques de contención con el fin de mitigar los alcances que se puedan generar en los ríos Luna y Omaña. De la investigación se pudo concluir que: Las características geográficas, geológicas y geomorfológicas del área de interés san a entender que la zona se encuentra en la parte noreste de la provincia de León, caracterizado por el paso de montañas con presencia de litología paleozoicas hasta llegar a características de un páramo cenozoico, la zona presenta características de haber sufrido alteraciones en el ordenamiento no urbanizable como se pudo indagar del registro fotográfico obtenido. Uno de los factores con más relevancia frente a eventos de inundaciones es la del clima, para la zona de interés se pudo identificar que en su complejidad presenta un clima árido-templado con características de invierno frío a partir de la clasificación de Walter, otra de las caracterizaciones estableció que es un clima templado con ausencias de estación seca según lo define Köpper, la zona se caracteriza por abundantes lluvias que se distribuyen entre los meses de otoño (el mes de octubre) y en la estación de primavera (marzo-abril), de la caracterización del río Luna está controlado por 2 embalses, uno que se comprende de Barrios de Luna y el de Selgas de Ordás, sin embargo estos embalses no controlan los factores de peligro en las llanuras que se ubican aguas abajo, en los años húmedos se puede estimar que el caudal supera a los valores dobles de los años considerados como secos y casi llegan a doblar los valores en los años normales, de los registros históricos se pudo identificar que los últimos años húmedos han sido el 2013-2014, 2006-2007 y 2000-2001, en estas épocas se han ocasionado una serie de inundaciones provocando así daños materiales estas inundaciones netamente fueron ocasionadas por eventos temporales de lluvia, a ello se le adicionan los factores condicionantes de deshielo y desembalse de Barrios de Luna. El área está catalogada como un área de riesgo alto de frente a inundaciones establecidos en el estudio realizado para el Plan Hidrológico de Cuenca, sin embargo, esta zona no está considerada dentro del plan de acción para la Conferencia Hidrográfica del Duero, los materiales que transportan el río poseen una

graduación del diámetro de alrededor 5 cm con la cual se forman barreras en los laterales y en el centro, en las cuales no se encontraron materiales finos.

Según Criado (2019), en la investigación titulada “Determinación del riesgo de inundación en la ciudad de Salamanca (España) mediante análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad” presentada en la Universidad de Salamanca. Tiene como objetivos: Simular los efectos que se tengan causados por las inundaciones, establecer medidas de control y prevención para efectos de inundación, establecer escenarios de periodos de retorno de 5, 50, 100 y 500 años con diferentes probabilidades de ocurrencias de intensidades de lluvia, analizar la información en los programas de Hec-RAS, Hec-GeoRAS y ArcGis, calcular los caudales para cada periodo de retorno estimando la extensión, velocidad y profundidad del cauce de interés en cada uno de los periodos simulados, identificar las infraestructuras y edificaciones que tengan un alto grado de peligrosidad frente a inundaciones, los factores de peligro, vulnerabilidad y riesgo se determinan el análisis final de las edificaciones y poblaciones. De la investigación se pudo concluir: Para un periodo de retorno de 5 años los caudales en los tramos Tomes I, Zurguén y Tormes II fueron de 217.3, 106.3 y 323.6 m³/s, para un periodo de retorno de 50 años fueron 524.4, 1887.9 y 712.3 m³/s, para un periodo de retorno de 100 años 635.2, 220.1 y 855.3 m³/s respectivamente y para un periodo de retorno de 500 años se tuvieron los caudales de 926.0, 307.6 y 1233.6 m³/s para cada uno de los tramos con estos valores se realizaron las simulaciones en el software Hec-RAS en la cual se obtuvieron los calados aproximados para cada uno de los periodos de retorno, estos valores son variables a medida que la topografía y los valores de caudal varíen, los valores de peligrosidad se calculan a partir de la probabilidad de que en zonas cercanas al cauce del Tormes depende de las intensidades de lluvia que se presenten en la región, las zonas con mayor probabilidad de inundación son las orillas de los ríos mientras que las partes más separadas del cauce presenta

un menor valor esto se debe netamente al valor de la energía de desplazamiento de las aguas del río y el volumen de caudal excedente a la capacidad de transporte del río, a medida que el periodo de retorno aumenta las zonas de inundación y nivel de peligro van creciendo en la parte del fondo de la zona de investigación, del análisis de la infraestructura se pudo identificar que gran parte de las afectaciones estructurales se dieron netamente en las vías de comunicación (vías de transporte), en la zona no se encontraron edificaciones relevantes debido a que en las orillas del río Tormes no hay edificaciones habitadas, de la caracterización de vulnerabilidad se pudo determinar que estos parámetros están netamente ligados a las características de las edificaciones presentes en el área de inundación, de esta caracterización se pudo determinar que la edificaciones con una alta vulnerabilidad son los que netamente poseen un aperos agrícolas y de herramientas que se relacionan con las actividades agrícolas y ganaderas de la zona, el resto de edificaciones se encuentra en un nivel de vulnerabilidad bajo medio esto debido a las características de robustes que presentan la edificaciones en su estructuración pero a en ello se debe considera que existe una presencia de habitantes con lo cual se establece que hay una vulnerabilidad media en la zona, de la caracterización del riesgo se pudo determinar que las zonas con un alto riesgo a inundaciones abarca en aproximado un área de alrededor a las 46 ha, estas zonas son casi la mismas que se representaron con un alto grado de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad estas zonas se ven estrechamente ligadas al cauce del río Tormes, los valores de riesgo alto los comprenden las edificaciones con una exposición alta y una alta vulnerabilidad frente a inundaciones, las extensiones se valorizan en 24.15 ha, los valores de riesgo moderado comprende un área de 45.12 ha en esta extensión se encuentran el resto de edificaciones comprometidas frente a posibles inundaciones, las extensiones con un riesgo bajo y muy bajo comprenden las áreas de 21.33 ha y 54.60 ha respectivamente estas corresponden con las zonas de inundación en el cauce del río Tormes a una distancia considerable de ella, en esta zona no se encuentran actividades antrópicas relevantes y solo comprenden

actividades agrícolas que hacen que los valores de peligrosidad y sus efectos no sean tan catastróficos en comparación con zonas urbanas.

Según Osés y Foundi (2020), en la investigación titulada “Valoración de riesgos por inundaciones” presentada en la Universidad Pública de Navarra e INARBE. En el cual se plantean los siguientes objetivos: Analizar las curvas probabilísticas para la estimación del daño esperado planteado como un indicador de riesgo frente a inundaciones, plantea medidas estructurales o no estructurales para calcular los efectos que se generen frente a inundaciones, establecer las comparaciones entre las medidas no estructurales privadas y las medidas estructurales públicas estimando los efectos que estos tengan dentro de la simulación a inundaciones. De la investigación se pudo concluir lo siguiente: Los factores de la gestión del riesgo se evaluaron previamente a las inundaciones, estas evaluaciones implicaron el análisis de la avenidas, exposición y la cuantificación de los elementos de riesgo, de las gráficas estimadas de las curvas de probabilidad de daño y los daños generados anualmente son los indicadores que se tomaron en cuenta para parámetros los indicadores de riesgo, teniendo así también que relacionar los valores de daños estructurales y para presentar propuestas que mitiguen los efectos en las estructuras, de esto se pudo plantear la medida estructural de la apertura del canal de Deusto en Bilbao, esta medida permite analizar las medidas no estructurales considerando así tener propuestas combinadas que eliminen gran parte del riesgo. Para los planes de gestión de riesgo se debe tener en cuenta los valores de gestión estructural tanto de sectores públicos y privados, en la investigación se tomaron en cuenta medidas estructurales como la construcción de presas o diques que ayuden a mitigar los efectos que se tengan frente a eventos de inundaciones considerando en la investigación los periodos de retorno pertinentes para la construcción de estas obra hidráulicas, al elaborar este tipo de edificaciones se tiene que tener en consideración que, si bien estas medidas ayudan a mitigar los efectos negativos que tengan las inundaciones, no son soluciones

definitivas del problema estas no deben generar una sensación de alivio extremo y siempre se tienen que realizar medidas no estructurales dentro de la población para que la población sea consciente de que los peligros no se eliminaron por completo solo que se generó una solución que mitiga los efectos, para implementar un buen sistema estructurado para la acción frente a posibles eventos de inundaciones, es necesario contar con el sector privado y sus posibles acciones económicas frente a eventos de inundación, contando así que no solo sea el sector público el que se lleve la carga de realizar acciones sino brindando un amplio panorama de soluciones frente a un tipo de problema en específico. De la caracterización de los peligros y vulnerabilidades dentro de la zona de estudio se pudo evidenciar que una de las más grandes problemáticas frente a inundaciones son los efectos que tienen el cambio climático directamente relacionado al cambio de temperaturas, propiciando así un entorno favorable para la ocurrencia de precipitaciones y por ende una sobrecarga de las capacidades de transporte del río o cauce en investigación, los efectos del cambio climático no solo se evidencian en el presente se tiene que tomar en cuenta que cuando se quiere edificar una estructura hidráulica se tienen que realizar proyecciones a futuro y es ahí donde directamente tiene implicancias el cambio climático estableciendo alteraciones en la proyecciones que no están siendo consideradas aumentándose así la probabilidades de ocurrencia de eventos extremos. Es imperante realizar proyecciones estableciendo parámetros de cambio climático y evitando que las estructuras estén mal proyectadas teniendo un mal diseño causado por la falla en los cálculos de proyecciones estimando valores mucho menores de los cuales puedan darse. De las medidas que se tomen para el control de las inundaciones existen relaciones entre los planteamientos estructurales y los no estructurales tanto de los sectores privados y públicos, el planteamiento de medidas como la apertura de un canal o la construcción de un dique generan cambios dentro de lo denominado riesgo remanente, estos efectos no son soluciones definitivas son soluciones que mitigan los efectos más no lo desaparecen, es por ello que estas medidas estructurales tienen que ser complementadas con

medidas no estructurales adecuándose al riesgo remanente que se genera por el efecto mitigante que tienen las medidas estructurales que ya se tomaron en cuenta.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Valdez (2020), en la investigación que titula “Evaluación hidráulica para estimar áreas de inundación del río Molla afluente del río llave” elaborada para la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, plantea los objetivos de: Aplicar modelos numéricos y con ello generar una simulación de los comportamientos hidráulicos bidimensionales del río Molla y con ello poder establecer áreas de inundación presentadas en condiciones extremas, calcular los valores de avenidas extremas del río Molla en diversos periodos de retorno elaborado en el software HEC-HMS estos valores se van a estimar para precipitaciones máximas de 24 hrs y a partir de un modelo probabilístico de caudales máximos instantáneos históricos, elaborar el modelo con el cual se realizará las simulaciones de comportamiento hidráulico bidimensional en el software IBER y ArcGIS, elaborar mapas indicando las zonas más propensas a inundaciones y así poder mejorar las medidas de control de emergencia causadas por las crecidas del río, determinar los valores de caudal ecológico en el tramo de interés de río Molla. De la investigación se pudo concluir: Para la recolección de datos el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) solo se pudo recopilar información hidrológica y de precipitaciones entre los años 1957 al 2011, tomándose en cuenta solo los periodos anuales del 1964 hasta 2011, las imágenes de elevación digital se obtuvieron de los servidores del Ministerio del Ambiente del Perú las cuales fueron fundamentales para la elaboración de la delimitación de la cuenca que comprende el río llave, los parámetros de morfología que comprende la cuenca del río llave son un área de 116.66 km², un perímetro de 80.23 km, pendiente de 0.21% longitud de cuenca 19.35, longitud de corriente 24.5, factor de forma de 0.31, un coeficiente de compacidad 2.00 y un índice de alargamiento de 0.63. De las características de la cuenca se pudo determinar que el valor

del tiempo de concentración es de 0.22 calculado a partir de la metodología USACE se logró determinar un tiempo de concentración de 5.02 horas difiriendo en gran medida con el resto de las metodologías con un valor de abstracción de 1.55 hrs, a partir de los valores de geomorfología de la cuenca hallados en la zona se determinó que para un periodo de retorno de 200 años el caudal máximo es de 53.50 m³/s, estos valores se calcularon a partir de la estación Laraqueri debido a que es la estación más cercana a la zona de interés. Del modelo hidráulico de simulación se pudo estimar que los valores de tirante van entre el rango de los 2 a los 70 cm el cual tiene un alto porcentaje de causar daños a la infraestructura cercana al cauce del río, de la simulación se pudo determinar a partir de un caudal de 53.4 m³/s y en una longitud de cauce de 2 km, se estimó que el área de inundación comprende 127 ha con unas 12 viviendas dentro de la zona de riesgo, 1 puente y 150m de vías de transporte comprometidas, para el caudal ecológico se estimó que el valor ronda los 0.48 m³/s a partir de los valores de caudal medio anual.

Según Vivanco (2019), en la investigación que titula “Análisis comparativo del comportamiento hidráulico de un tramo del cauce del río Pachachaca aplicando HEC-RAS para el diseño de defensas ribereñas en el distrito de Calamarca-Julcán” elaborada para la Universidad Privada Antenor Orrego, se plantea como objetivos los siguientes: Elaborar los análisis de comparación entre un sistema de cauce libre y el mismo cauce con una edificación de una defensa ribereña para determinar los efectos que se tenga en la mitigación de inundaciones en las riberas del río Pachachaca, determinar en el tramo de investigación las zonas que comprenden a la faja de inundación, elaborar estudios de ingeniería básica para la obtención de parámetros topográficos, hidrológicos e hidráulicos los cuales servirán para la realización de las simulaciones hidráulicas, investigar sobre los comportamiento hidráulicos en situación de máxima avenida para diferentes periodo de retorno, construir una simulación hidráulica en situaciones de extremo

caudal, elaborar una comparativa entre el cauce natural y el cauce modificado a partir de la construcción de estructuras de encausamiento, elaborar el diseño de estructuras hidráulicas como defensas ribereñas para evitar el desborde del río. De la investigación se pudo concluir: El tramo escogido para la investigación comprende 5km del río Pachachaca identificándose los tramos críticos a partir de las siguientes progresivas: km0+260-km0+340; km1+000-km1+160.00; km 0+256-km2+640; km3+680-km3+900; km5+220-km5+400. Para la investigación se realizaron levantamientos topográficos de un tramo de la cuenca del río Pachachaca los cual ayudó a determinar la capacidad de transporte de caudal en el tramo de 5km. De la aplicación del método racional arrojó como resultado un caudal de 38.60 m³/s de la metodología del flotador se obtuvo un caudal de 29.6 m³/s eligiéndose así pues un caudal de diseño de 38.60 m³/s. Con la información recopilada se pudo elaborar la simulación hidráulica el software HEC-RAS logrando así caracterizar cada uno de los 5 tramos considerados y representados en planos temáticos. Los valores de investigación se elaboraron teniendo en cuenta un periodo de retorno de 25 años y con ello se logró elaborar el diseño de una defensa ribereña que trabaja acorde a lo demandado frente a una posible inundación en la zona.

Según Alaya (2020), en la investigación que titula “Caracterización de los Modelamientos Hidráulicos Numéricos de Inundaciones Fluviales, Cajamarca 2020” para la Universidad Privada del Norte plantea como objetivos: Calcular las características principales para la elaboración de un modelo óptimo que se ajuste a las características hidráulicas a partir de métodos numéricos aplicados a inundaciones fluviales, recolectar información para modelamientos hidráulicos de inundaciones fluviales, ejecutar la recolección de datos mediante fichas para la facilidad del procesamiento de información, identificar los parámetros comúnmente empleados en la elaboración de modelos hidráulicos elaborado para eventos de inundaciones a partir de un análisis estadístico y descriptivo, elaborar la investigación priorizando que las características se ajusten al

entorno para asegurar la confiabilidad de los valores obtenidos, elaborar una guía especializada enfocada a las características óptimas para el modelo hidráulico de inundaciones. De la investigación se pudo concluir: De la hipótesis planteada en la investigación esta no se rechaza completamente debido a que con los resultados obtenidos si se encuentra adecuado realizar levantamientos topográficos de corrección en la zona de investigación y en las fajas de inundación los modelos de elevación digital que se encuentran a disposición si bien van mejorando año con año siempre es más ajustado a la realidad elaborar planes de levantamiento topográfico in situ para la mejora de los resultados obtenidos, con relación al proceso hidrológico es más adecuado realizar este proceso mediante la ayuda de un software especializado en la rama de hidrología con ello se puede estimar que los tiempos en la obtención de resultados es menor, para el modelo hidráulico realizado en la investigación no se puede estimar que los valores resultantes del software Iber sean superiores a los otros softwares de la misma rama debido a que los modelos que aplica cada software son variables de acuerdo al tipo de investigación que se requiera, en las investigaciones generalmente se aplican más modelos unidimensionales a comparación de los modelos bidimensionales por las facilidades de parámetros que se requieren en las diferentes metodologías de investigación. De la recopilación de la información de estudios hidrológicos se tomaron en cuenta 20 investigaciones relacionadas a inundaciones fluviales dentro de esas investigaciones se tomaron en cuenta 11 tesis y 9 artículos las investigaciones se recopilaron de los servidores nacionales e internacionales de divulgación científica los cuales tomaron en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. Para la recopilación de información se tuvo en cuenta los valores generales y específicos de las investigaciones a partir de fichas elaboradas por expertos en la rama con lo cual deben tener una estructura válida para la interpretación de resultados correctos. De las investigaciones se revisaron que los parámetros comúnmente tomados en cuenta son la obtención de la información topográfica de la zona, omitir el proceso batimétrico del cauce de interés, la consideración de las características geológica y

geomorfológica, obtención de máximas avenidas en softwares relacionados a la hidrología, obtención de un modelo hidráulico con el software HEC-RAS a partir de modelos unidimensionales con las ecuaciones de Saint Venant, consideración de las características de rugosidad a partir de los valores de Manning con la calibración del modelo. Se realizó un modelo de guía para la elaboración del procedimiento del modelo hidráulico a partir de modelos numéricos de inundaciones fluviales presentando los parámetros y características óptimas para realizar modelos de inundación.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Según Tuesta (2018), en la investigación que titula “Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por inundación del río Huallaga en la ciudad de Tingo María en un entorno SIG” elaborada para la Universidad Nacional Agraria de la Selva, plantea como objetivos: Analizar los niveles de vulnerabilidad y riesgo causados por la inundación ocasionada por el cauce del río Huallaga en el tramo que corresponde a la ciudad de Tingo María, calcular los valores de peligro de la zona causada por inundaciones, elaborar un análisis específico para las vulnerabilidades de inundación y deducir a partir de valores calculados previamente las zonas con un alto riesgo frente a inundaciones ocasionadas por el desborde del río Huallaga en el tramo que corresponde a la ciudad de Tingo María. De la investigación se pudo concluir que: A partir de la caracterización del peligro en la zona de interés se pudo estimar que alrededor de un área de 52.34 Ha el peligro es catalogado con un nivel muy alto, esta extensión comprende alrededor del 10% del área total de la zona de interés, las zonas que se identificaron con un valor muy alto generalmente son los márgenes del río Huallaga y en ciertos puntos llega hasta la zona de las primeras cuadras de los jirones cercanos a la avenida Raymondi. Los valores de peligro alto tienen una extensión de área del alrededor de 183.4 Ha el cual es en porcentaje el 36.3% del total del área de interés. Las zonas con un valor medio de peligrosidad están abarcadas por un área total de 152.10 ha el cual es aproximadamente

un 30.17% del área de interés. Las zonas con un nivel de peligro bajo comprende un área de alrededor 116.83 ha el cual representa alrededor 23.17% del área total de interés. De los resultados relacionados con la vulnerabilidad social, Las zonas con un nivel de vulnerabilidad alta comprende una extensión de 195.62 ha que representa el 34.32% del área total de la zona de interés. Las zonas con un nivel de vulnerabilidad medio comprenden una extensión de alrededor de 226.40 ha el cual comprende un 39.72% de área total de la zona de interés. Las zonas con un nivel de vulnerabilidad baja comprenden una extensión de alrededor de 148.01 ha el cual comprende un 25.97% del área total de la zona de interés. De los resultados de vulnerabilidad económica, se pudo estimar que las zonas con un nivel muy alto de vulnerabilidad comprenden una extensión de 93.69 ha el cual comprende el 22.20% del área total de la zona de interés. Las zonas con un nivel de vulnerabilidad alta comprenden una extensión de 328.33 ha el cual representa el 77.80% del área total de la zona de interés. De la caracterización de la vulnerabilidad ambiental se pudo estimar que la zona de interés en su totalidad se puede catalogar como un lugar de vulnerabilidad muy alta. De la caracterización del riesgo en la zona de interés se pudo determinar que, para el nivel de riesgo muy alto se extiende alrededor de 87.70 ha el cual representa un 15.38% del área total de la zona de interés. El nivel de riesgo alto comprende una extensión de alrededor de 350.79 ha el cual representa el 61.54% del área total de la zona de interés. El nivel de riesgo medio comprende una extensión total de 131.55 ha el cual representa un 23.08% del área total de la zona de interés.

Según Garay (2021), en la investigación que titula “Análisis hidráulico para reducir riesgos de inundación del río Nupe, en el centro poblado de Pilcocancha, distrito de Rondos-Lauricocha-Huánuco-2019” elaborado para la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, se plantean como objetivos: Identificar los parámetros hidráulicos con el fin de reducir los riesgos frente a inundaciones ocasionados por el desborde del río Nupe ubicado en el centro poblado de Pilcocancha, calcular los valores

de elevación máxima de caudal para los periodos de retorno de 2, 100 y 500 años, elaborar un análisis hidráulico para el río Nupe para aplicar una simulación de máximas avenidas y con ello poder estimar los valores de transporte máximo de caudal hasta el punto de generar una inundación, identificar los puntos específicos en donde la inundación es crítica para las fajas de inundación simuladas. De la investigación se pudo concluir: Para el área de la cuenca que forma el río Nupe tiene un área de 767 km², un perímetro de 149.58 km, como ancho medio de 14.72 km, coeficiente de compacidad 1.51, factor de forma 0.28, pendiente de cauce de 0.0022, el valor calculado para el número de curva es de 83.45 para el cálculo, los caudales para los periodos de retorno de 2, 100 y 500 años son 201.7, 251 y 363.2 m³/s respectivamente, a partir de la metodología de Cowan se pudo determinar que la rugosidad del cauce tiene un valor de 0.025, para los márgenes del río se tuvo en cuenta un valor de rugosidad de 0.030, los valores del modelo hidráulico se tuvo en cuenta como lag time el valor de 95.4, el valor del tiempo de concentración es de 158.94 hrs, de la caracterización del suelo se tuvo en cuenta un valor de impermeabilidad del 10% y con una duración de tormenta de 6 hrs.

Según Mallqui (2021), en la investigación que titula “Nivel de riesgo por inundación en la cuenca del río Huallaga sector San Rafael-Huánuco 2019” realizada para la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, en la cual se plantea como objetivos: Calcular los niveles de riesgo frente a inundaciones analizadas en la cuenca de río Huallaga para el sector San Rafael, realizar visitas a la zona de interés con la finalidad de identificar las características que presenta la zona en específico los peligros y vulnerabilidades, identificar las áreas de riesgo frente a inundaciones en las riberas del río Huallaga en el tramo que comprende la localidad de San Rafael. De la investigación se pudo concluir: La evaluación metodológica planteada en la investigación funcionó para el entorno del río Huallaga y con ello se pudo determinar los valores de riesgo en la cual se encuentra la zona, la zona del sector de San Rafael a partir de la

aplicación metodológica del riesgo se catalogó con un nivel medio lo cual validó la hipótesis planteada en la investigación, de la determinación del peligro para la zona de San Rafael se pudo determinar que se encuentra en un nivel medio, de la clasificación de la vulnerabilidad se pudo determinar que la zona presenta un nivel alto, con los resultados obtenidos de las simulaciones y caracterizaciones de la zona de interés se elaboraron mapas temáticos de riesgo a partir de los factores de peligro y vulnerabilidad que presenta la zona de interés, el modelo hidráulico realizado en la zona pudo ayudar a identificar las zonas críticas frente a inundaciones en el sector denominado San Rafael, de la caracterización de la zona se pudo determinar que a lo largo del cauce del río Huallaga en el sector de San Rafael ciertos tramos presentan estructuras de defensas ribereñas a partir de ello se pudo cuantificar un total de 1736 m aproximadamente que se requieren de la edificación de estructuras hidráulicas de encasamiento, de la caracterización de inundaciones se pudo evidenciar que la zona con mayor riesgo es la denominada barrio Chancadora para la cual se planteó el diseño de un muro de concreto de 5.6 m de altura con una longitud de aproximadamente 1150m para lo cual se realizó un presupuesto aproximado de S/. 6'795,998.60 este presupuesto se ejecutó con los valores de mercado del año 2021 requiriéndose un reajuste a partir del año en que se requiera corroborar o edificar el proyecto.

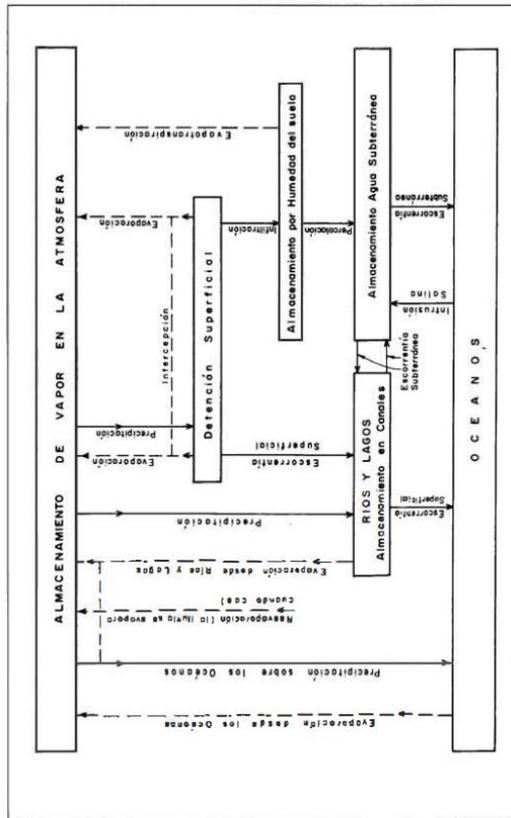
2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. HIDROLOGÍA

Se puede definir al esquema hidrológico al proceso que se da a partir del ciclo hidrológico, en dicho esquema se puede identificar las relaciones de los componentes, el esquema se muestra a continuación:

Figura 1

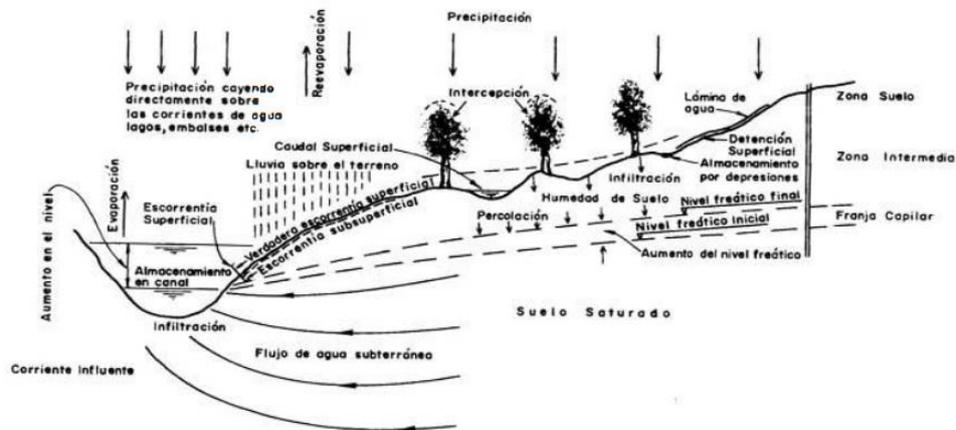
Esquema hidrológico



Fuente: (Monsalve, 1999)

Figura 2

Proceso de escorrentía



Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.2. ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE HIDROLOGÍA

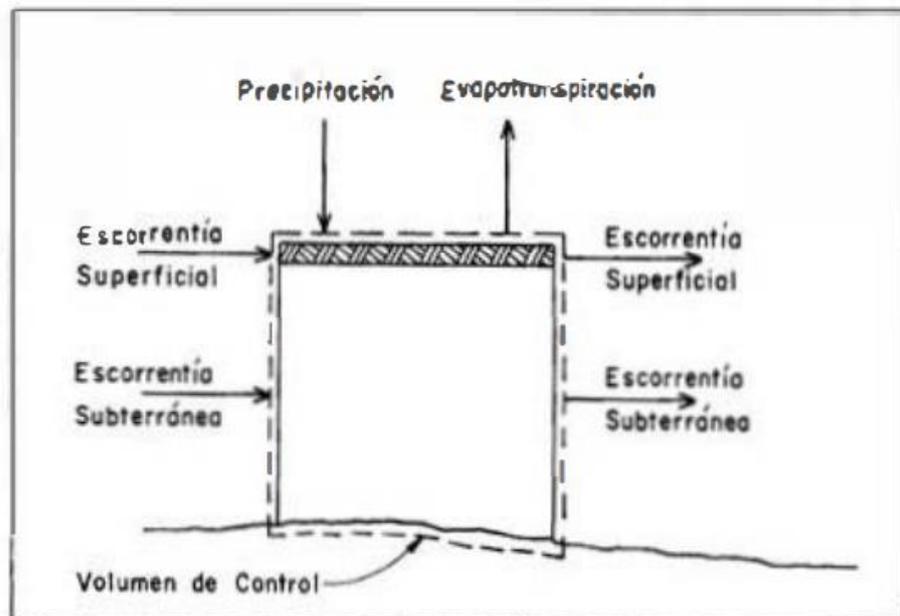
La ecuación se puede definir de la siguiente forma:

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

De la ecuación se puede interpretar la siguiente expresión “Los valores que ingresan al sistema en diferencia con los que sale da como resultado los valores del cambio de almacenamiento del sistema”, los valores de se calculan en un determinado periodo de tiempo y planteando volúmenes de control como se muestra en el siguiente esquema:

Figura 3

Esquema de volumen de control



Fuente: (Monsalve, 1999)

Si se tiene en cuenta la caracterización de una determinada cuenca hidrográfica se tienen los siguientes factores:

Factores de entrada (I):

- Escorrentía de otras cuencas
- Eventos de precipitación
- Importaciones de agua
- Existencia de aguas subterráneas

Factores de salida (O):

- Evapotranspiraciones
- Eventos de transpiración
- Escorrentía dirigida hacia otra cuenca
- Exportación de agua
- Aguas subterráneas hacia otras cuencas
- Eventos de infiltración

Alteraciones de almacenamiento (ΔS):

- Almacén de aguas subterráneas
- Almacén por variaciones de humedad
- Almacén superficial de embalses

2.2.3. APLICACIONES HIDROLÓGICAS

Tabla 1

Hidrología aplicada en múltiples procesos

ESTUDIO	1	2	3	4	5
PROPÓSITO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	INFILTRACIÓN	CAUDALES, NIVELES	CONDICIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
Erosión del suelo	Intensidad y Duración	Humedad del suelo	Capacidad de infiltración	-	-

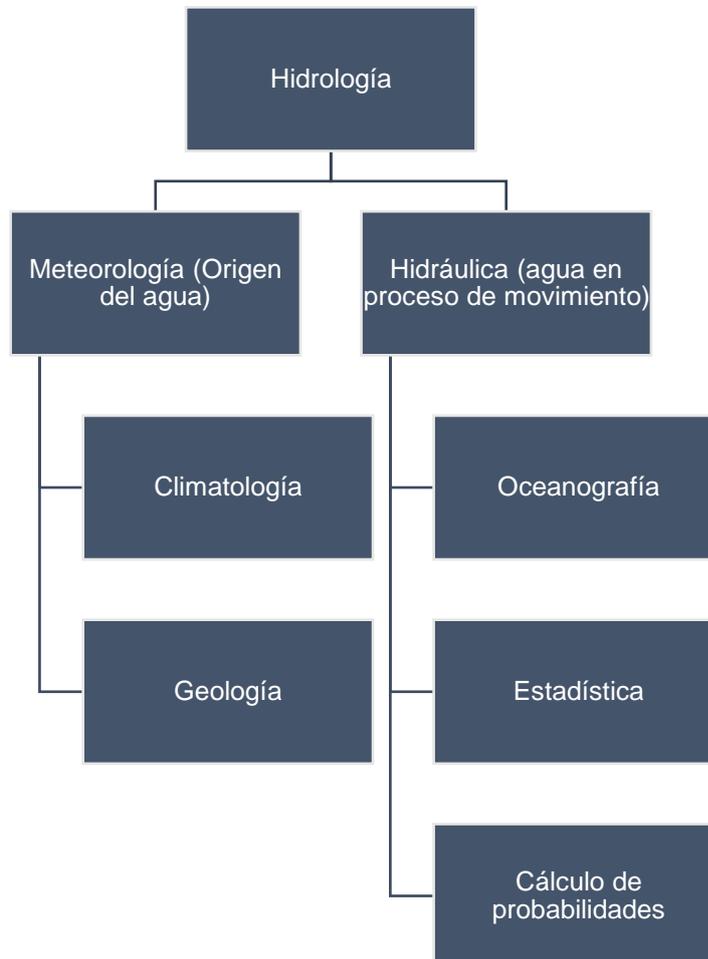
Control de crecientes	Altura de precipitación de la tormenta, intensidad y duración	-	Tasa de infiltración actual	Frecuencia de caudales máximos	Infiltración entrante
Navegación	-	-	-	Hidrograma de niveles. Curva de duración de niveles Niveles mínimos	Infiltración de agua a través de canales
Hidroelectricidad	Precipitación y evaporación sobre el área de drenaje y evaporación desde el área del embalse		-	Promedios	Infiltración a través de presas
Drenaje	Frecuencia de tormenta, intensidad, duración	Altura del drenaje anual	Tasa de infiltración actual	-	Niveles
Irrigación	Variación anual de la precipitación; temporadas de cosecha	Máxima evaporación, transpiración	Pérdidas por infiltración	Años húmedos y secos. Niveles en bocatoma	Pérdidas por población Nivel de la tabla de agua
Abastecimiento de aguas	Precipitación y evaporación sobre el área de drenaje y evaporación desde el área del embalse		-	Años húmedos y secos.	Rendimiento seguro
Embalse de agua subterránea	Precipitación anual sobre el área de abastecimiento	Evaporación anual del área de abastecimiento	Infiltración anual Recarga	Infiltración entrante y saliente	Almacenamiento

Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.4. RAMAS DE ESTUDIO DE LA HIDROLOGÍA

Figura 4

Esquemas de aplicación



Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.5. CUENCA

Se define a la cuenca como al área topográfica el cual esta drenada por un cauce de agua de tal manera que todo el caudal que recorre tiene un punto de salida común.

A partir de la ecuación de la hidrología:

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Para la ecuación se exige los valores de altura mínima la cual permita una escorrentía dentro del área. La precipitación que se genere en el área de la cuenca se puede transformar en caudal si se dan las condiciones de que las pérdidas por evaporación sean mínimas y puedan ser despreciadas en los cálculos en el periodo temporal de entrada.

A partir de un modelo real se puede establecer las siguientes expresiones para entender mejor el proceso hidrológico:

- Balance hídrico encima de la superficie

$$P - R + R_g - E_s - T_s - I = S_s$$

- Balance hídrico debajo de la superficie

$$I + G_1 - G_2 - R_g - E_g - T_g = S_g$$

- Balance hídrico de la cuenca

$$P - R - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) + (G_1 - G_2) = S_s + S_g$$

De la expresión se sabe:

P : Precipitación

R : Escorrentía superficial

E : Evaporación

T : Transpiración

I : Infiltración

S : Almacenamiento

G_1 : Escorrentía subterránea que ingresa

G_2 : Escorrentía subterránea que sale

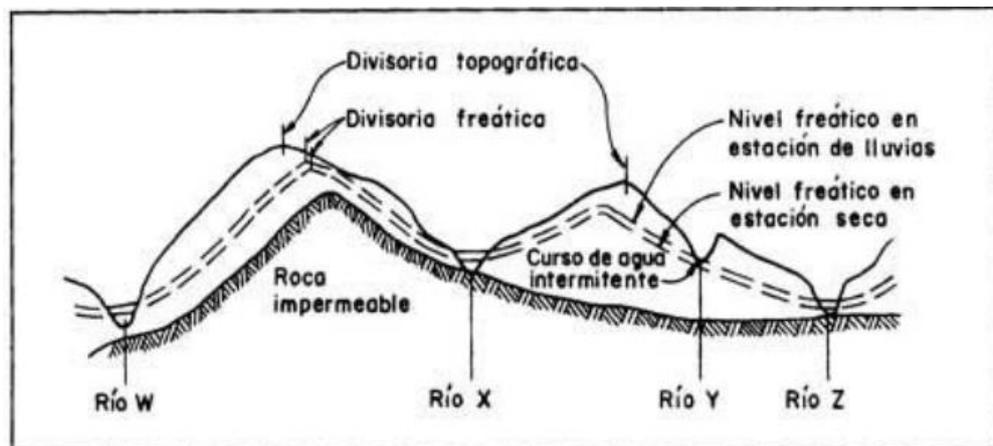
R_g : Escorrentía subsuperficial

2.2.6. DIVISORIA DE CUENCAS

Las divisorias que delimitan una cuenca se pueden clasificar como divisorias topográficas o superficiales, y también las divisorias freáticas o subterráneas de la cual se pueden obtener los valores de caudales de una determinada cuenca, estas dos divisorias es muy difícil que sean iguales, se puede establecer que la divisoria freática cambia a partir del nivel freático en el que se encuentre la cuenca, los valores definidos de área de drenaje se calculan a partir de la divisoria topográfica.

Figura 5

Perfil de una cuenca



Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.7. CLASIFICACIÓN DE CURSOS DE AGUA

- Perennes: Presencia permanente de corrientes de agua

- Intermitentes: Corrientes estacionarias, generalmente aparecen en épocas de lluvia.
- Efímeros: Se generan casi de inmediato a posterior de las precipitaciones en una determinada zona.

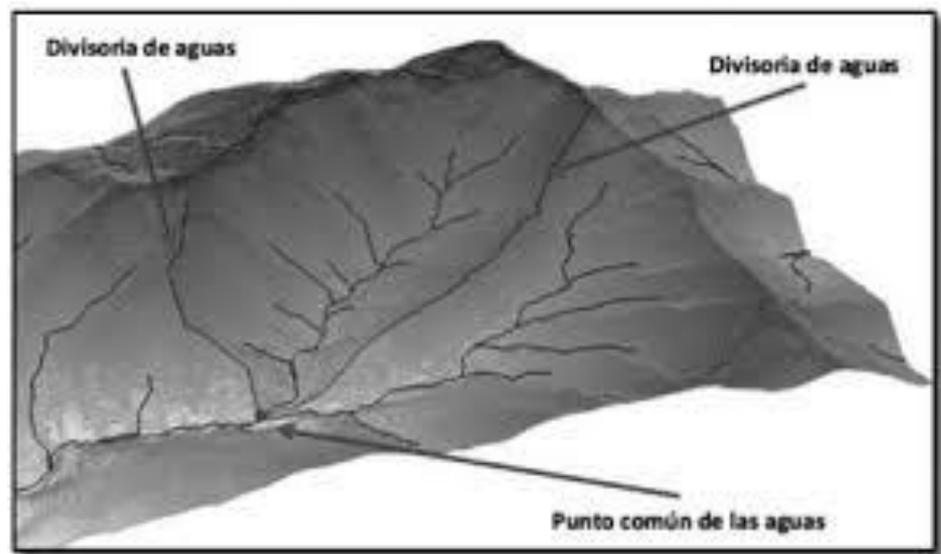
2.2.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA

2.2.8.1. ÁREA (A)

Proyección horizontal plana a partir de los límites de la divisoria.

Figura 6

Representación de una cuenca



Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.8.2. FORMA DE CUENCA

Característica que relaciona a la forma de la cuenca con el tiempo de concentración con la cual se rige la cuenca.

- Índice de Gravelius (KC): Relación entre el perímetro y la longitud de circunferencia:

$$Kc = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{A^{1/2}}$$

- Factor de forma (Kf): Proporción entre el valor de ancho medio y la distancia axial de la cuenca:

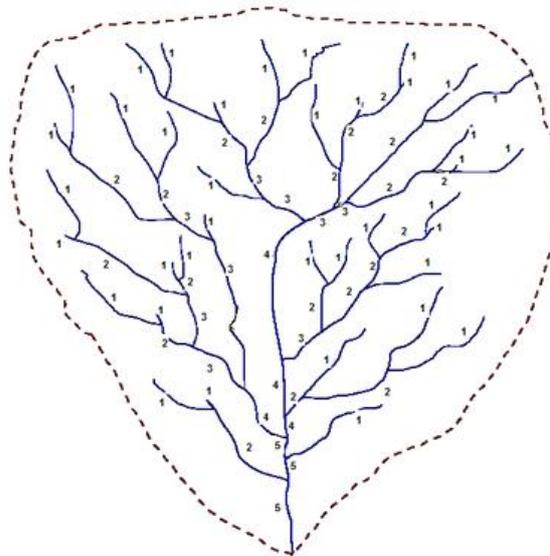
$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

2.2.8.3. SISTEMA DE DRENAJE

Orden de corrientes: Evidencia los niveles de ramificación que presenta la cuenca.

Figura 7

Orden de corrientes



Fuente: (Azagra, 2007)

- Densidad de drenaje: Proporción que existe entre la longitud de los cauces con el área total de la cuenca.

$$D_d = \frac{L \text{ km}}{A \text{ km}^2}$$

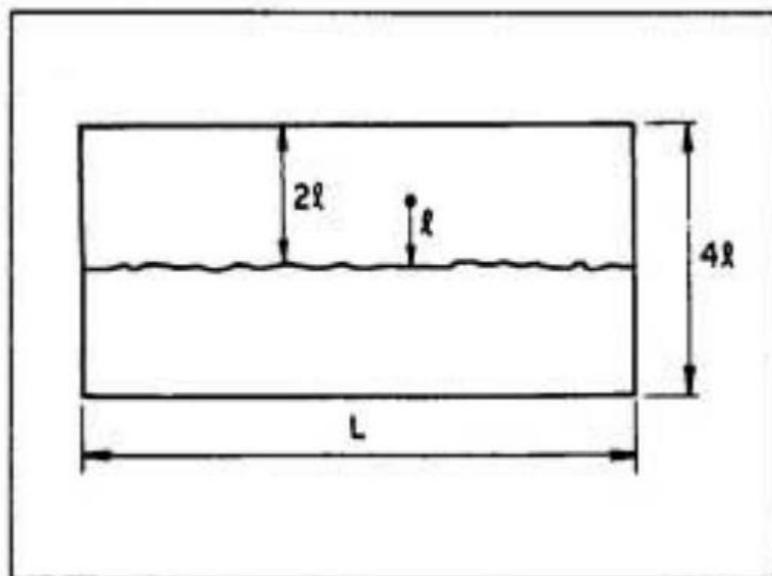
Los valores de densidad varían entre los 0.5 a 3.5 km/km², el menor valor representando las cuencas con un drenaje pobre hasta las cuencas con una gran capacidad de drenaje.

Extensión promedio de escorrentía en la superficie: Se define a este concepto a la longitud promedio en la que el agua precipitada escurrir dentro de la cuenca, este concepto se puede expresar a partir de la siguiente expresión:

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

Figura 8

Longitud promedio de escorrentía en la superficie



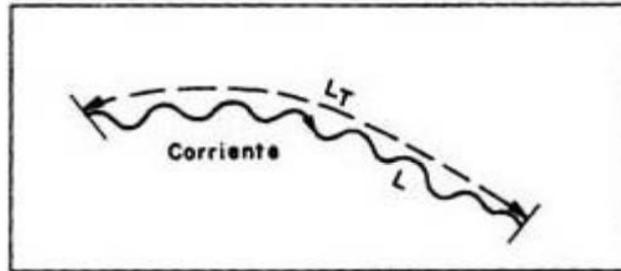
Fuente: (Monsalve, 1999)

- Caracterización de las sinuosidades: Este factor relaciona las longitudes del río principal en todo su recorrido con la longitud del río analizado ejecutado en una línea recta o curva, este factor se puede establecer como:

$$S = L/L_t$$

Figura 9

Sinuosidad



Fuente: (Monsalve, 1999)

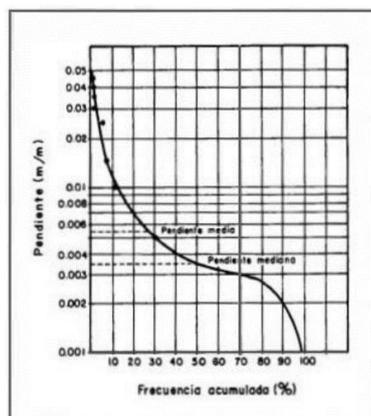
El valor de factor de sinuosidad se relaciona directamente con los valores de escurrentía del agua, los valores determinados menores a 1.25 representan una baja sinuosidad, puede entonces ser idealizado como un río de alineamiento “recto”.

2.2.8.4. CARACTERÍSTICAS DE RELIEVE

- Pendiente de una cuenca: Este valor controla gran parte de la velocidad que se genera en la escurrentía superficial de la cuenca, y por consiguiente afecta a los valores de tiempo de concentración modificando así las características de drenaje de cuenca.

Figura 10

Curva de pendientes

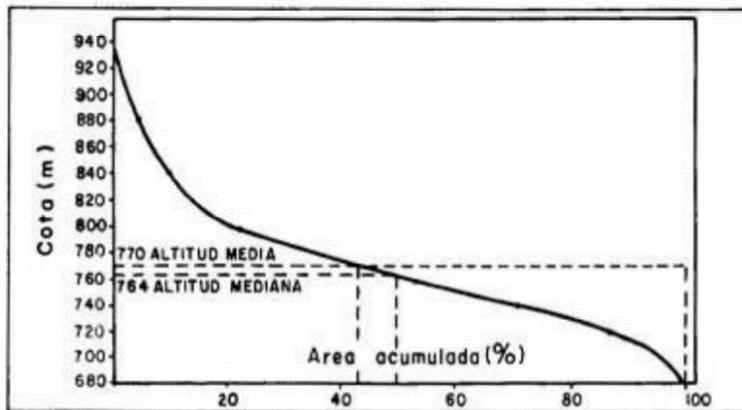


Fuente: (Monsalve, 1999)

- Curva hipsométrica: Esta gráfica se puede realizar a partir de cuadrículas planimétricas determinando las áreas entre curvas de nivel. Esta curva plantea relaciones el valor de la cota, en la zona de las ordenadas, con los valores porcentajes de área acumulada en el eje de las abscisas. La curva representa los valores altitudinales en porcentajes acumulados que son igualados o excedidos.

Figura 11

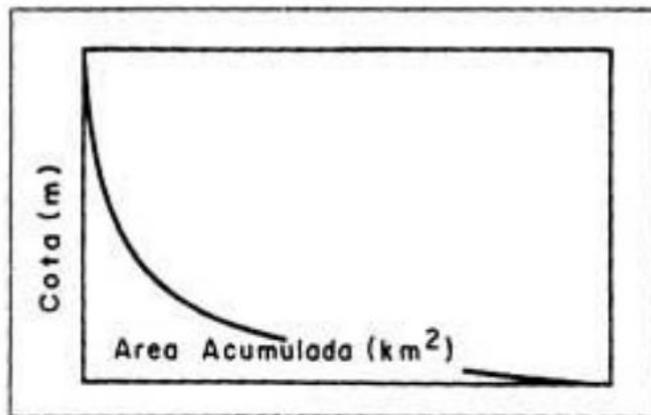
Curva de hipsométrica



Fuente: (Monsalve, 1999)

Figura 12

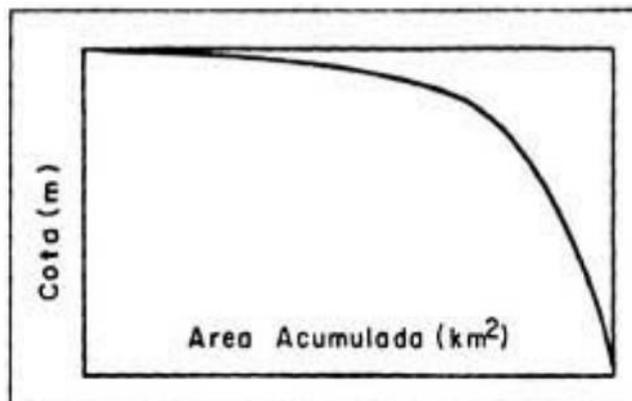
Curva de hipsométrica con valles extensos



Fuente: (Monsalve, 1999)

Figura 13

Curva de hipsométrica con valles profundos



Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.8.5. ELEVACIÓN PROMEDIO DE LA CUENCA

Esta característica se puede expresar a partir de la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Cota \times \text{Área})}{\sum_{i=1}^n \text{Área}}$$

Para esta expresión se tiene que tener en cuenta que los valores altitudinales y los valores promedio de una cuenca son relevantes desde el punto de vista de las precipitaciones, evaporaciones y el caudal promedio.

2.2.8.6. PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL

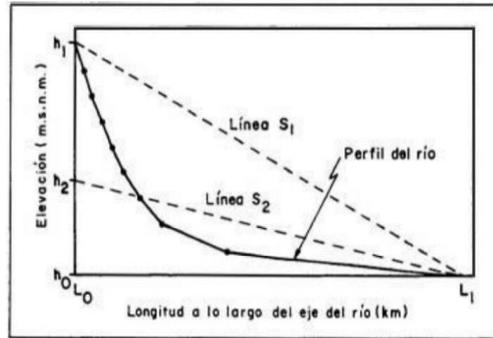
Los valores de escurrimiento dependen de los valores de pendiente que se encuentren los canales fluviales con mayores pendientes se generan mayores velocidades.

- Pendiente media (S_1): Diferencia de elevación del lecho del río partido por la distancia general del lecho.

- Pendiente media ponderada (S_2): Trazado de una línea en el perfil del perfil del río, realizando una compensación de áreas bajo y sobre la línea.

Figura 14

Pendiente



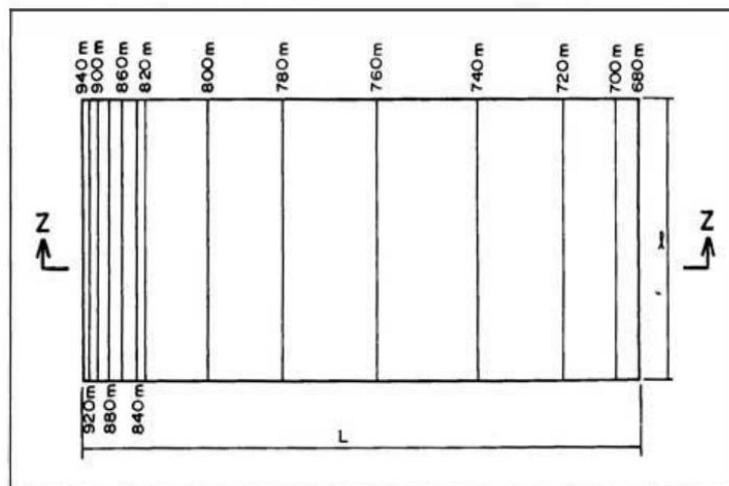
Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.8.7. RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Esta metodología se plantea a partir del interés de relacionar las características de la cuenca con los valores de escorrentía que se generen en la cuenca.

Figura 15

Rectángulo equivalente



Fuente: (Monsalve, 1999)

Los valores en distancias entre curvas altitudinales son valores proporcionales a las separaciones en áreas del rectángulo equivalente.

2.2.8.8. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Las características del suelo son relevantes en la cuenca con el fin de determinar los valores de escorrentía en la cuenca, estos valores son influyentes en la permeabilidad del suelo, el cual no puede presentar una permeabilidad del 100%. De estas caracterizaciones se puede determinar las características de los tamaños de los materiales.

Tabla 2

Tipo de Material

TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO
Gravas	$2 < \emptyset$
Arena gruesa	$0.2 < \emptyset < 2$
Arena fina	$0.02 < \emptyset < 0.2$
Limo	$0.002 < \emptyset < 0.02$
Arcilla	$\emptyset < 0.002$

Fuente: (Monsalve, 1999)

2.2.9. PRECIPITACIÓN

Para las precipitaciones es necesario analizar sus distribuciones, intensidades y examinar la información necesaria para su cuantificación.

2.2.9.1. ORIGEN DE LAS PRECIPITACIONES

Para el origen de las precipitaciones es necesario que se den las condiciones necesarias las cuales son:

- Humedad atmosférica

- Intensidad solar
- Mecánicas de enfriamiento
- Existencias de núcleos higroscópicos
- Mecánicas de crecimiento de partículas

2.2.9.2. TIPOS DE PRECIPITACIONES

Las precipitaciones se pueden clasificar a partir de las características de las condiciones que se generen:

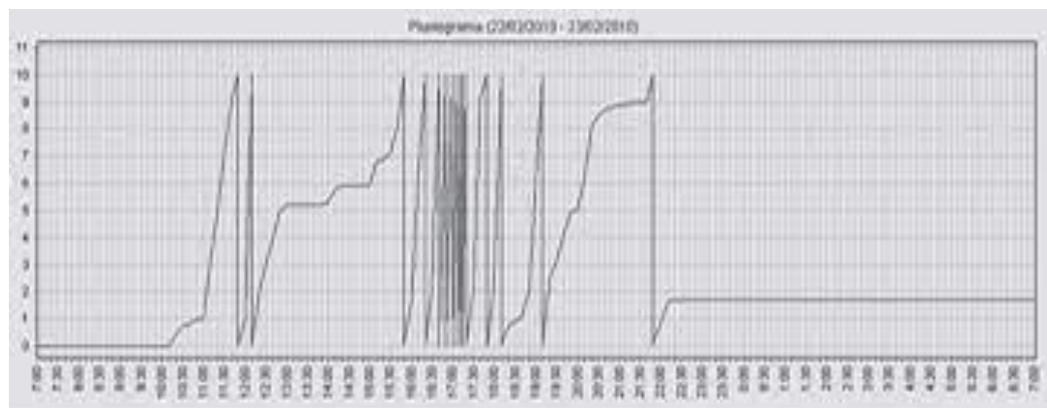
- Precipitación convectiva
- Precipitación orográfica
- Precipitación por convergencia

2.2.10. MEDICIÓN DE PRECIPITACIONES

Para las mediciones se hace uso de los pluviómetros y pluviógrafos, con estas herramientas se pueden hacer lecturas de las alturas pluviométricas dadas en mm expresadas en un periodo de tiempo determinado.

Figura 16

Registros pluviográficos



Fuente: (Cotler, 2013)

2.2.11. DATOS FALTANTES

Para las estaciones pluviométricas que no cuenten con un registro histórico continuo y que haya datos de investigación faltantes se plantean metodologías para el relleno de datos de tal manera que no afecten a la serie de la muestra la cual se puede determinar a partir de la siguiente expresión, siempre y cuando se tengan registros de estaciones cercanas en el periodo de tiempo en el cual hay datos faltantes:

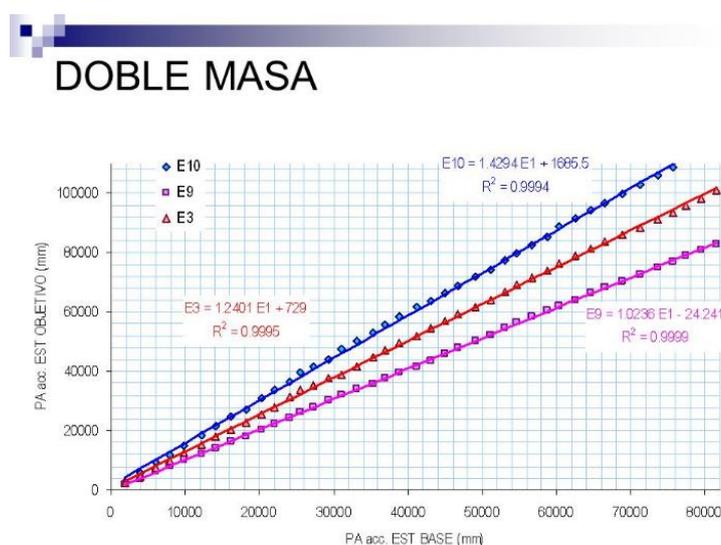
$$P_s = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right]$$

2.2.12. ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Es el procedimiento para la verificación de la homogeneidad de la serie de datos obtenidos en la recolección de información de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de interés, esta metodología se basa en la realización de relaciones de los datos acumulados de precipitación para una determinada zona.

Figura 17

Análisis de doble masa



Fuente: (Cotler, 2013)

2.2.13. ESTADÍSTICA DE DATOS HIDROLÓGICOS

Para la cantidad de datos que se tiene en el análisis hidrológico se requiere caracterizar y resumir los datos a partir de valores característicos, con ello se establecen los siguientes valores:

2.2.13.1. MEDIA

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2.2.13.2. MEDIANA

Valor definido que parte a las frecuencias en la distribución de probabilidades, este valor es el que caracteriza a una probabilidad del 50%. Este valor es más conveniente para la tendencia central porque no se ve directamente afectada por valores extremos.

2.2.13.3. MODA

Valor más recurrente en la serie de datos en análisis generalmente estos datos están agrupados en clases o categorías.

2.2.13.4. DESVIACIÓN CENTRAL

$$S = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}\right)}$$

2.2.13.5. VARIANZA

$$Var = S^2$$

2.2.13.6. RANGO

Valor de la diferencia entre el mayor y menor valor que se tiene en la serie de datos.

2.2.13.7. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

2.2.14. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD EN HIDROLOGÍA

2.2.14.1. NORMAL

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx$$

2.2.14.2. LOG-NORMAL

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log \frac{x_i}{n}$$

2.2.14.3. GUMBEL

$$P(x \leq x_i) = e^{-e^{-y_i}}$$

$$y_i = d(x_i - x_f)$$

$$d = \frac{S_n}{S}$$

$$x_f = \bar{X} - S \frac{Y_n}{S_n}$$

2.2.14.4. LOG-GUMBEL

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{\log x_i}{n}$$

$$S_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i - \bar{W})^2}{n-1}}$$

$$d = \frac{S_n}{S_w}$$

$$X_f = \bar{W} - S_w \frac{Y_n}{S_n}$$

$$Y_i = d(w_i - x_f)$$

$$P(w \leq w_i) = e^{-e^{-y_i}}$$

2.2.14.5. LOG-PEARSON TIPO III

Esta distribución es aplicada para los valores de lluvia o caudales críticos anuales.

2.2.14.6. PEARSON TIPO III

Estos valores se determinan de la misma manera que en el inciso anterior con lo cual se aplica para muestra de datos históricos con el fin de elaborar una distribución de probabilidades ajustada a la serie de datos.

2.2.15. PRECIPITACIÓN MEDIA SOBRE LA CUENCA

Este valor es determinante para los cálculos del balance hídrico o cuantificación de las precipitaciones en una cuenca hidrográfica en un intervalo de tiempo determinado. Estos valores se pueden calcular a partir de las siguientes metodologías:

2.2.15.1. ARITMÉTICO

Esta metodología presenta una óptima estimación de valores siempre y cuando las estaciones estén bien distribuidas y de forma uniforme dentro de la cuenca, la cuenca tiene características planas y las variaciones de las lecturas dentro de las estaciones es

mínima, esta metodología se puede expresar a partir de la siguiente fórmula:

$$\bar{P} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n P_i$$

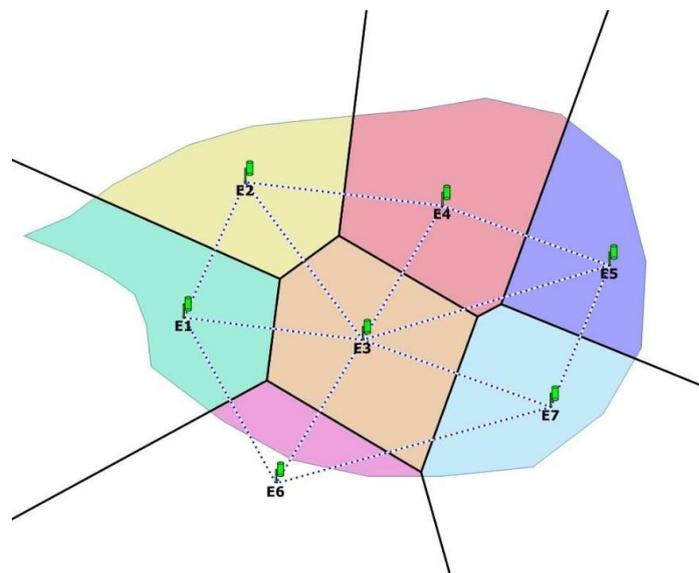
2.2.15.2. POLÍGONO DE THIESSEN

Si se tiene una distribución no uniforme de estaciones dentro de la cuenca esta metodología se puede aplicar, esta metodología se basa en las atribuciones de pesos ponderados en proporción a las áreas de influencia de cada estación, esta metodología no presenta consideraciones orográficas en su planteamiento lo cual podría generar una variación de confiabilidad de los resultados, pero asegurándose una buena aproximación. Este método se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times P_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Figura 18

Polígono de Thiessen



Fuente: (Cotler, 2013)

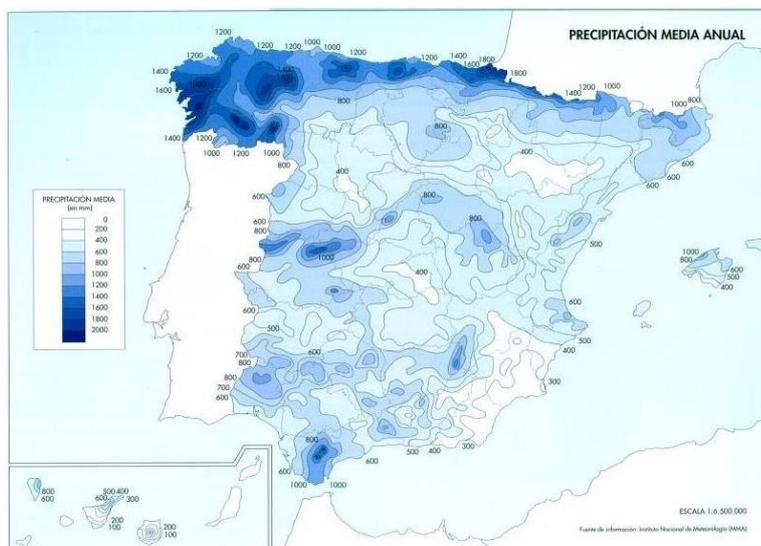
2.2.15.3. ISOYETAS

Esta metodología es la más precisa, en esta forma de aproximación se hace uso referencial de las curvas de nivel en donde las alturas son reemplazadas por la altura del agua precipitada, en esta metodología si se consideran las variaciones orográficas de la cuenca, de tal forma que el resultado final se muestra de manera más ajustada al terreno de interés. Esta metodología se puede representar con la siguiente fórmula:

$$\bar{P} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}} \right]$$

Figura 19

Isoyetas



Fuente: (Cotler, 2013)

2.2.16. ANÁLISIS DE INTENSIDADES DE LLUVIA

Para la caracterización de lluvias en una cuenca determinada se tienen que plantear las relaciones entre la intensidad, duración, frecuencia y distribución.

2.2.16.1. RELACIÓN ENTRE DURACIÓN E INTENSIDAD

La intensidad de precipitación se puede establecer de los registros pluviográficos, lo cual se define como la distribución que se da en los valores acumulados en un determinado periodo de tiempo. Usualmente se usan las siguientes distribuciones de tiempo:

- 5, 10, 15, 30 y 45 minutos
- 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas

Estos valores temporales establecen los intervalos para la realización de curvas de intensidad-duración de precipitación con diferentes frecuencias de ocurrencia.

2.2.16.2. RELACIÓN ENTRE FRECUENCIA E INTENSIDAD

- Series anuales y series parciales: Si se plantean investigaciones que requieran probabilidades mayores a un 0.2 ($T > 5$ años), es recomendable aplicar series con valores máximos anuales teniendo en cuenta los eventos más críticos anuales.

Tabla 3

Comparativa entre serie anual y parcial

Periodo de retorno (años)	
Serie Parcial	Serie Anual
0.50	1.16
1.00	1.58
1.45	2.00
2.00	2.54
5.00	5.52
10.00	10.50
50.00	50.50

Fuente: (Monsalve, 1999)

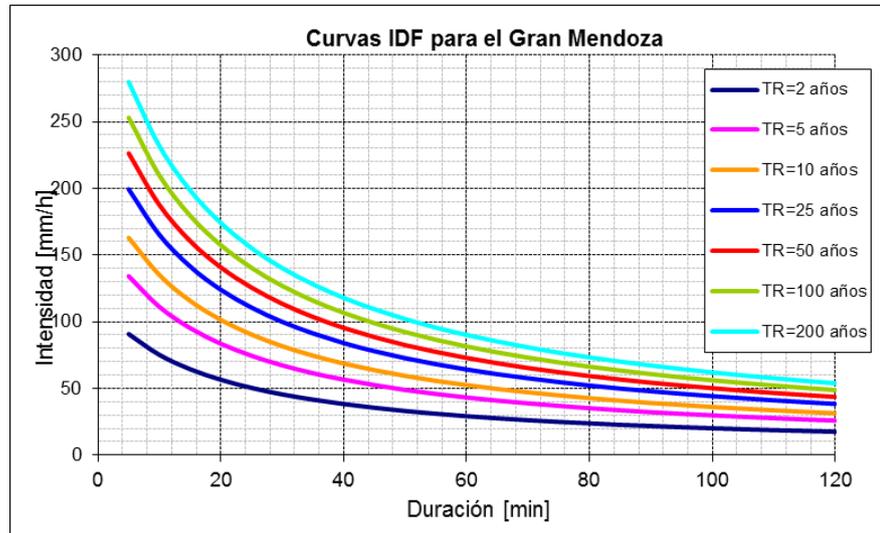
2.2.16.3. RELACIÓN INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Esta relación se plantea para diferentes periodos de duración de lluvia, la expresión que relaciona la IDF es la siguiente:

$$i = \frac{C}{(t + t_0)^n}$$

Figura 20

Curvas IDF



Fuente: (Cotler, 2013)

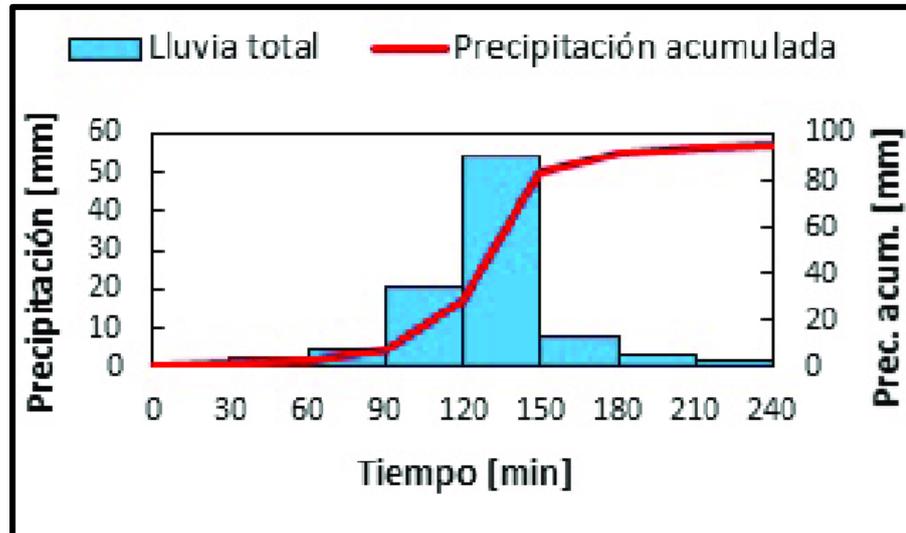
2.2.17. ANÁLISIS DE INTENSIDADES

2.2.17.1. GRÁFICAS DE HIETOGRAMAS

Se define a esta gráfica como la curva de las lluvias acumuladas a partir de la parte inicial del aguacero.

Figura 21

Hietograma



Fuente: (Cotler, 2013)

2.2.18. CÁLCULO DE CRECIENTES

Se puede definir como el valor del caudal máximo para un determinado proyecto, y si es necesario realizar los hidrogramas de crecientes teniendo en cuenta los valores de escorrentía superficial hasta que termine el proceso.

Los valores de cálculo se ejecutan a partir de extrapolaciones con los datos históricos recolectados en condiciones críticas, si se tiene un registro histórico de n años y se requieren el análisis para un periodo de retorno de m años de la cual se sabe que $m > n$.

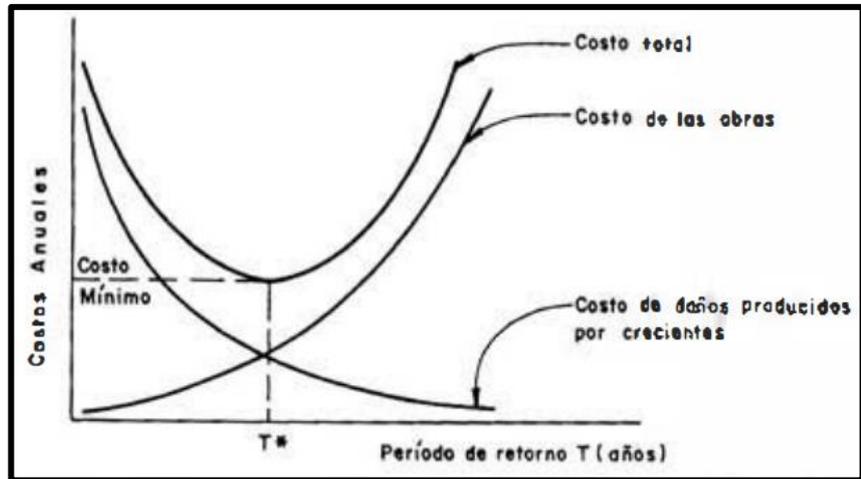
2.2.18.1. PERIODO DE RETORNO

Se define como periodo de retorno al promedio en los años en el cual los valores del caudal crítico son igualados o superados al menos una vez. Para el cálculo se establecen los siguientes parámetros:

- Criterios económicos

Figura 22

Análisis de costos



Fuente: (Monsalve, 1999)

- Criterios usuales

Tabla 4

Criterios para periodo de retorno

Tipo de Proyecto	Periodo de retorno en años
Desviación de crecientes en proyectos hidroeléctricos	25 a 50 años
Rebosaderos para crecientes de proyectos hidroeléctricos, dependiendo de si la presa es de tierra o enrocado, o de concreto	Mayor o igual a 1000 años, o criterio de creciente máxima probable
Colectores de aguas de lluvias en ciudades, dependiendo del tipo de zona dentro de la ciudad	2 a 10
Alcantarillas para carreteras	1.1 a 5

Fuente: (Monsalve, 1999)

- Criterio de riesgo: Este criterio es definido a partir de la simulación de que la estructura genere un fallo en periodo temporal de vida útil que tiene, esta expresión se puede precisar a partir de las siguientes fórmulas:

$$T = \frac{1}{P(x \geq x_0)}$$

$$T = \frac{1}{1 - (1 - k)^{1/n}}$$

2.2.18.2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES

- Hidrograma unitario

A partir de esta metodología obteniendo el hidrograma de una intensidad de lluvia en un determinado momento y elaborando el hidrograma unitario se pueden estimar los valores de crecienta de escorrentía con ello se calcula los valores de caudal de cualquier lluvia en diferentes periodos de retorno.

- Fórmula general

Se establece a partir de la siguiente expresión:

$$Q = C i_m A$$

En donde el caudal pico (Q) es originado por una lluvia de intensidad media (i_m) sobre una cuenca con una superficie (A) que posee un coeficiente de escorrentía (C). El valor de intensidad se puede determinar para un pluviógrafo a partir de la siguiente fórmula:

$$i = \frac{KT^m}{(t_c + t_0)^n}$$

Considerando en la expresión el tiempo de concentración y el periodo de retorno.

Tabla 5*Tiempo de concentración*

Nombre	Fórmula
Medida por trazadores	Se coloca trazadores radioactivos en la divisoria de agua de la cuenca con el fin de determinar el tiempo que le toma al trazador llegar a al sitio de interés
Fórmula de Kirpich	$T_c = \left(11.9 \frac{L^3}{b}\right)^{0.385}$
Fórmula de Hathaway	$T_c^{2.14} = \frac{2}{3} nL\sqrt{S}$
Fórmula de George Rivero	$T_c = \frac{16L}{((1.05 - 0.2p)(100S)^{0.04})}$

Fuente: (Monsalve, 1999)

Tabla 6*Rugosidad de Manning para Hathaway*

Canal	n
Limpio, orillas verticales	0.025-0.033
Limpio, orillas verticales con malezas	0.030-0.040
Serpenteante, algunos charcos	0.033-0.045
Tramos muy lentos	0.050-0.080
Tramos con muchas malezas	0.075-0.150

Fuente: (Monsalve, 1999)

- Fórmula de Burkli-Ziegler

$$Q = 0.022MRC \sqrt[4]{\frac{S}{M}}$$

Tabla 7

Valores de *C* para Ziegler

Tipo de superficie	C
Calles pavimentadas y barrios bastante edificados	0.75
Calles comunes de ciudades	0.625
Poblados con plazas y calles en grava	0.30
Campos deportivos	0.25

Fuente: (Monsalve, 1999)

- Fórmula de Kresnik

$$Q = \alpha \frac{32}{(0.5 + \sqrt{A})} A$$

- Fórmula de Creager

$$Q = 46CA^{0.894} A^{-0.048}$$

- Fórmula de Baird y McIlwrsith

$$Q = \frac{131000A}{(107 + A)^{0.78}}$$

2.2.18.3. MANEJO DE CRECIENTES

Para la mejora de las acciones frente a crecientes no controladas se plantearon las siguientes soluciones generales:

- Edificaciones de embalses
- Mejora de canales

- Desviación de volúmenes de agua hacia otras cuencas
- Modificatorias legislativas para el control de crecientes
- Alerta temprana a crecientes

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Cuenca hidrográfica: “Es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple” (Monsalve, 1999)

Curva Hipsométrica: “Es la representación gráfica del relieve de una hoya. Representada el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la hoya con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones” (Monsalve, 1999)

Creciente: “Fenómeno de ocurrencia de caudales relativamente grandes. Una inundación se caracteriza por la ocurrencia de caudales grandes que se salen del canal de la corriente. Una creciente puede no causar inundación, especialmente si se construyen obras de control para tal fin” (Monsalve, 1999)

Divisorias: “Se designa como divisoria la línea que separa las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial. La divisoria sigue una línea rígida, atravesando el curso de agua solamente en el punto de salida. La divisoria une los puntos de máxima cota entre hoyas, lo que no impide que en el interior de una hoya existan picos aislados con una cota superior a cualquier punto de la divisoria” (Monsalve, 1999)

Hidrología: “La hidrología versa sobre el agua de la tierra, su existencia y distribución, sus propiedades físicas y químicas, y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la Tierra” (Monsalve, 1999)

Infiltración: “Formación de un paso de agua en forma de conducto a través de materiales naturales o artificiales, cuando las resultantes de todas las

fuerzas que actúan sobre las partículas del suelo tienen una componente vertical en el sentido de la gravedad” (Monsalve, 1999)

Precipitación: “Agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo” (Monsalve, 1999)

Tiempo de concentración: “Tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida del mismo” (Monsalve, 1999)

Transpiración: “Proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmosfera en forma de vapor” (Monsalve, 1999)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL

H_p: Las metodologías geoespaciales facilitan y optimizan la determinación de las llanuras de inundación para el cauce del río Huallaga.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

H_e: Los valores de confiabilidad de la información pluviométrica de los servidores nacionales son superiores al 70% y presentan una correlación entre ellos.

H_e: A partir de la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de tendencias de los registros de pluviometría juntamente con la aplicación de una correlación temporal y espacial se pudo demostrar que los valores presentan una confiabilidad superior al 70% para su aplicación en el modelo hidrológico.

H_e: Con un incremento de los valores del periodo de retorno se evidencia un aumento proporcional de los valores de caudal del río Huallaga.

He: Los modelos de simulación de inundación son obtenidos a partir de información topográfica e hidrología identificada para la cuenca que forma el río Huallaga en el punto de aforo establecido al inicio del centro poblado Juan Velasco Alvarado.

He: La implementación de medidas no estructurales evidencian una mejora dentro de la prevención y mitigación de daños frente a inundaciones en el cauce del río Huallaga.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Llanura de inundación

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Metodologías geoespaciales

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 8

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTUAL	DEFINICIONES OPERACIONALES	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Llanura de inundación	Son áreas de superficie cercana a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes, si bien las llanuras de inundación tienen una naturaleza cambiante estas deben ser analizadas para la identificación del impacto que tengan sobre la	Las llanuras de inundación se determinan a partir de la longitud de traslado del agua del cauce, los valores de tirante que se generen dentro del cauce del río, las velocidades presentes a causa de las	Dependiente	Caudales críticos Modelo de inundación	Tiempo de retorno Tiempo de concentración Método del SCS Tirante hidráulico de inundación

	población circundante a las llanuras. (Cotler, 2013)	precipitaciones anómalas	Medidas de control	No estructurales
Metodología geoespacial	Los datos geoespaciales son datos relativos a lugares concretos de la superficie de la Tierra, incluida la información 3D. Un sistema de información geográfica (SIG) es un marco que proporciona la capacidad de capturar y analizar datos espaciales y geográficos. El análisis geoespacial incluye la recopilación, visualización, manipulación y análisis de imágenes, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), las imágenes de satélite y los datos históricos. (Vivanco, 2017)	La metodología geoespacial se basa en la aplicación de las imágenes satelitales o levantamientos topográficos realizados en la zona de interés con el fin de establecer las características del terreno y con ello establecer los parámetros para la elaboración de un modelo hidrológico e hidráulico que ayuden a facilitar los procesos de simulación de inundaciones en la zona.	Registros históricos de precipitación	SENAMHI ANA Prueba de bondad Distribuciones estadísticas
			Modelos de terreno	Imágenes de elevación digital Parámetros geomorfológicos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

Se establece que un enfoque cuantitativo se plantea a partir de un conocimiento objetivo, la validación de una hipótesis a partir de un proceso estructurado y estadístico de validez o rechazo. (Hernández, 2014)

Para la investigación se tuvo un enfoque **cuantitativo**.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

En una investigación descriptiva, el objetivo es proporcionar una representación precisa y detallada de un fenómeno o población específica. Se recopilan datos para describir características, patrones y tendencias. (Hernández, 2014)

Para la investigación se tuvo un nivel **descriptivo**, en este tipo de investigación, el objetivo principal es describir y mapear las llanuras de inundación utilizando una metodología geoespacial. El énfasis está en proporcionar una representación detallada y precisa de las áreas propensas a inundaciones.

3.1.3. DISEÑO

Se establece que una investigación no experimental no altera ni ejecuta investigaciones experimentos controlados. (Hernández, 2014)

Para la investigación se tuvo un diseño **no experimental**, debido a que en la presente investigación se centró en la investigación de un fenómeno natural como son las inundaciones, y que para la caracterización del evento natural se requirió la recopilación de información histórica que no debe ser manipulada debido a que se

afectarían los resultados de caudal y por ende en la estimación de las llanuras de inundación.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación. (Hernández, 2014)

Para la investigación se estableció como población al cauce del río Huallaga en la localidad de Ambo

3.2.2. MUESTRA

Una muestra es un subconjunto de la población que está siendo estudiada. Representa la mayor población y se utiliza para sacar conclusiones de esa población. El muestreo **no probabilístico** es una técnica de selección de muestra en la cual los elementos de la población no son seleccionados de acuerdo con una probabilidad conocida o determinada. En lugar de ello, se utilizan criterios subjetivos y prácticos para seleccionar los elementos más convenientes, representativos o fácilmente disponibles para formar parte de la muestra. (Hernández, 2014)

Para la investigación se establece como muestra **no probabilística** a un tramo de 800 m aguas abajo a la altura de la Capilla del Señor de los Milagros.

3.3. TÉCNICASE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS

3.3.1.1. OBSERVACIÓN DIRECTA

- **Observación e identificación de terreno:** Para la caracterización preliminar del suelo se hicieron visitas a la zona de interés con la finalidad de identificar la topografía de

la zona e identificar preliminarmente las características que presenta el cauce.

Figura 23

Visita a campo

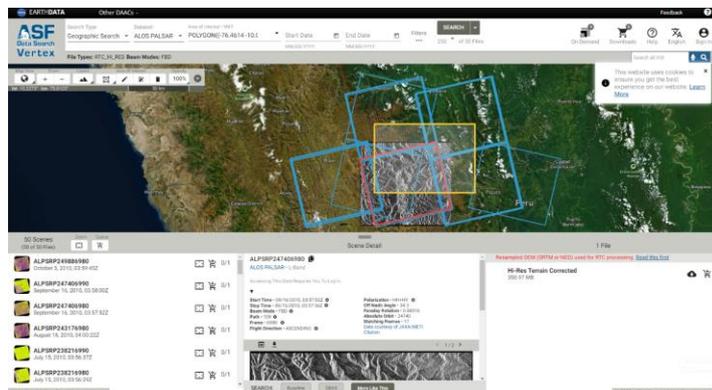


3.3.1.2. ANÁLISIS DE CONTENIDO

- **Información geográfica:** Para la estimación de los modelos de cuenca se hizo necesaria la recolección de imágenes satelitales con la cual se puedan identificar los límites de la cuenca, para ello se hizo uso de los servidores internacionales Alos Palsar de imágenes satelitales.

Figura 24

Servidor de descarga de imágenes satelitales



Con la identificación preliminar de los cauces que componen la cuenca se lograron recolectar las imágenes que incluyan a la zona de interés y con ellos se logró delimitar de manera eficiente la cuenca que se forma a partir de tener en cuenta el punto de aforo en el inicio de la muestra que se tomó en la presente investigación.

- **Modelo hidrológico**

Tabla 9

Esquema de parámetros geomorfológicos de cuenca

VALORES GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUALLAGA			
CARACTERÍSTICAS	ÍTEM	UND	VALOR
GEOMÉTRICAS	ÁREA	km ²	
	PERÍMETRO	km	
	LARGO	km	
	ANCHO	km	
RELIEVE Y PENDIENTE	MÁXIMA COTA	msnm	
	MÍNIMA COTA	msnm	
	VALOR DE PENDIENTE MEDIA	%	
	VALOR DE CENTROIDE X	m	
	VALOR DE CENTROIDE Y	m	
	ALTURA DE CENTROIDE	msnm	
	V. FACTOR DE FORMA	Adim.	
	V. COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Adim.	
ÍNDICES	COEF. DE ELONGACIÓN	Adim.	
	FACTOR DE CIRCULARIDAD	Adim.	
	ORDEN DE RED HÍDRICA	Adim.	
	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL	km	
RED HÍDRICA	LONGITUD TOTAL DE LA RED HÍDRICA	km	
	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	%	

Identificados y calculados los parámetros geométricos de la cuenca de interés, se organizaron los valores de acuerdo con el esquema presentado anteriormente, dicha organización se establece con la finalidad de identificar y visualizar los valores más relevantes dentro de la información cartográfica elaborada.

- Modelo de simulación

Tabla 10

Valores de Caudal

CAUDAL DE DISEÑO			
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL	VALORES REAJUSTADO
10			
25			
50			
100			
500			

Tanto las intensidades como los valores de parámetros geométricos de la cuenca de interés lograron dar los valores de caudal con las cuales se realizaron los modelos de inundación para el área de interés.

Tabla 11

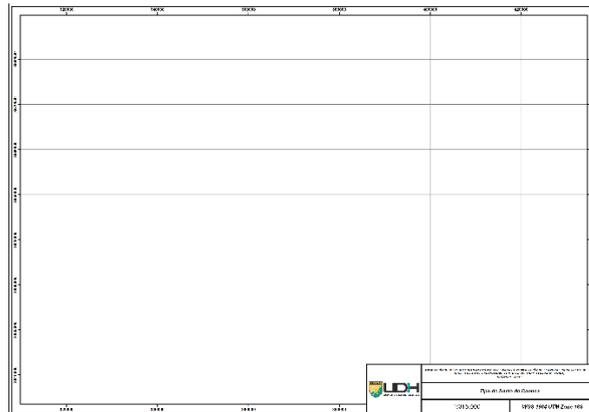
Áreas de inundación y faja marginal

Área de Faja Marginal			
Tiempo de retorno	Área de Cauce	Área de Inundación	Área de Faja Marginal

Con el modelo elaborado en el software HEC-RAS se lograron determinar los valores de faja marginal y la total área de inundación que presenta el cauce de la cuenca.

Figura 25

Esquema cartográfico



La información que se logra recolectar del modelo de inundación se representa en forma de cartográfica con la finalidad de identificar de manera visual las zonas más afectadas frente a inundaciones.

3.3.1.3. ANÁLISIS DOCUMENTAL

- **Análisis Temporal:** Esquema de presentación de datos de precipitación.

Tabla 12

Esquema de presentación de datos de precipitación

PRECIPITACIONES MÁXIMAS			
PERIODO DE RETORNO	PP	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2			
5			
10			
25			
50			
100			
105			
500			
1000			
10000			

Con los valores de precipitación ajustados a una distribución determinada se logró establecer los valores de

precipitación para diferentes periodos de retorno con lo cual se establecen la información base para la elaboración de curvas IDF con la cual estimar intensidades y por consecuencia los valores de caudal para los periodos de retorno de interés.

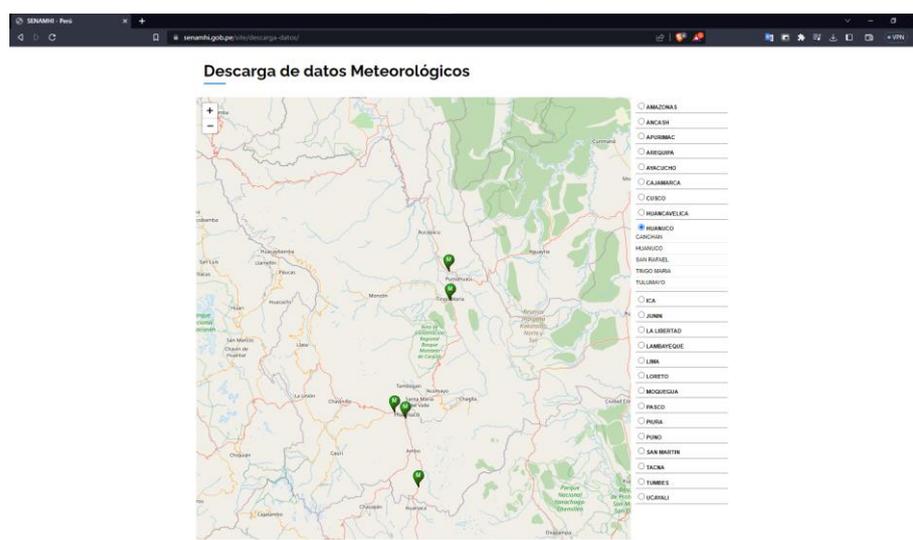
3.3.2. INSTRUMENTOS

3.3.2.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para la recolección de información de lluvia se requirió del acceso a las lecturas de precipitaciones del SENAMHI, dichos valores de registro solo se encontraron actualizados hasta el año 2013 en su registro completo, a partir de ese periodo hasta la actualidad, los valores se encuentran en un estado de afinación y corrección de valores de lectura para que a futuro se puedan realizar estudios de más precisión.

Figura 26

Registro histórico de precipitaciones SENAMHI



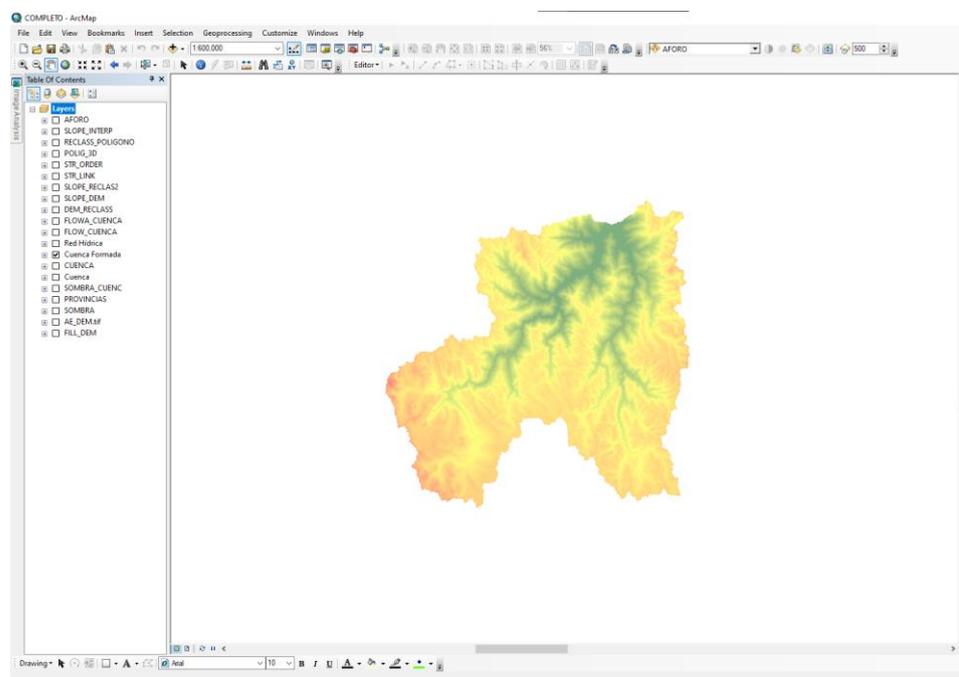
- Se utilizó plano de identificación de zonas urbanas cercanas.

3.3.2.2. SOFTWARE DE MODELO GIS

Con la información geoespacial delimitada e identificado los valores geométricos modelados en el software ArcGIS se lograron estimar los valores paramétricos de la cuenca, con dicha información se plantearon características de infiltración y escorrentía que caracterizan la cuenca, a partir de ello los valores determinados se presentaron en esquemas ordenados con la finalidad de agilizar la identificación de valores.

Figura 27

Interfaz de software ArcGIS



La información satelital permitió elaborar un modelo de elevación delimitado según los cauces y altitudes que comprende la cuenca, con dichos límites establecidos se lograron calcular los valores geométricos que caracterizan a la cuenca de interés.

- Se utilizó un modelo digital del terreno.

3.3.2.3. REGISTROS HISTÓRICOS

Tabla 13

Esquema para organización de información pluviométrica

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:													PP PROM	PP MIN	PP MAX
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC			
1988															
1989															
1990															
1991															
1992															
1993															
1994															
1995															
1996															
1997															
1998															
1999															
2000															
2001															
2002															
2003															
2004															
2005															
2006															
2007															
2008															
2009															
2010															
2011															
2012															
2013															
N DE DATOS															
DESV. ESTANDAR															
CORF. VARIACION															
PRECIP. PROM															
PRECIP. MAX															
PRECIP. MIN															

La información que brinda el servidor del SENAMHI es generalmente desordenado y registrados por días con ello se identifican los valores máximos mensuales y se reordenan a partir del esquema presentado anteriormente.

- Se utilizó cartillas de registros históricos de caudal y precipitación.

3.3.2.4. SOFTWARE DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 14

Esquema de registro de lluvias

PP MAX EN 24 Hrs.	
ESTACIÓN:	
LONGITUD:	
LATITUD:	
ELEVACIÓN:	
AÑO	PM (24hrs) - SIST. PISCO
1988	
1989	
1990	
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	
1997	
1998	
1999	

2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013

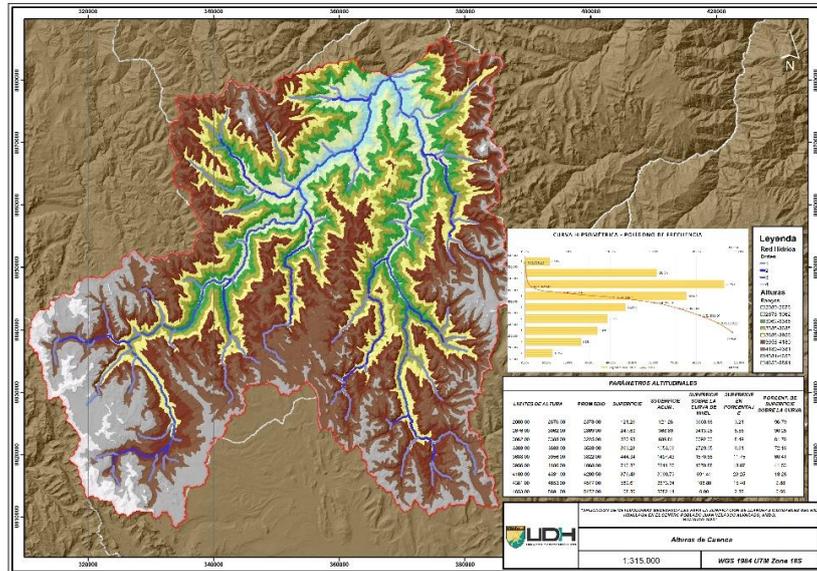
DE DATOS
SUMA
MÍNIMO
MÁXIMO
PROMEDIO
VARIANZA
DESVIACIÓN ESTÁNDAR
COEF. VARIACIÓN
COEF. SESGO

Los registros históricos de pluviometría para cada una de las estaciones seleccionadas en la investigación fueron sometidas a un análisis de consistencia estadístico con el cual se establecieron los valores más adecuados para cada estación y con ellos se promedió un valor de precipitación para el centro de la cuenca de interés, dichos valores de centro de cuenca fueron utilizados para el establecimiento de las distribuciones estadísticas y con ello la estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

- Se utilizó plantillas de hojas Excel para el proceso estadístico.

Figura 29

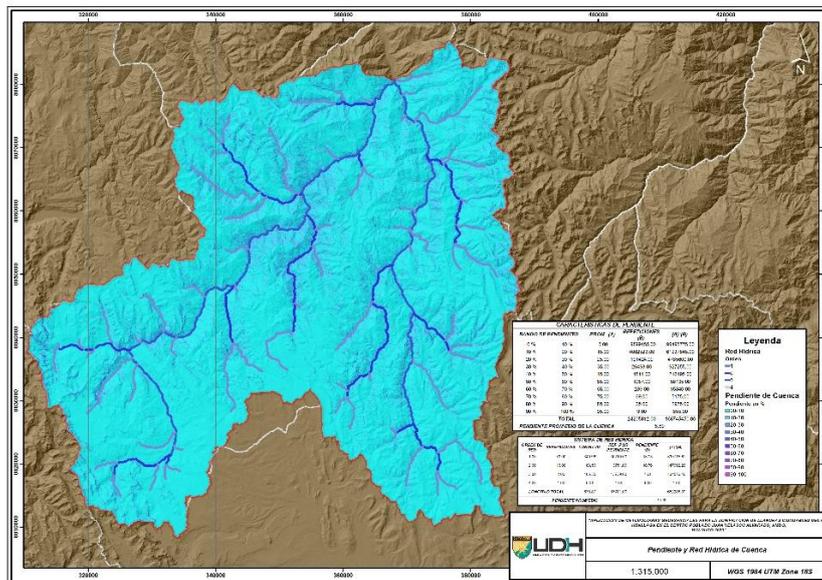
Identificación de altitudes de la cuenca



Nota. Con las imágenes satelitales recopiladas y delimitadas a partir de los límites establecidos de la cuenca se pudo identificar y calcular valores altitudinales presentes en la cuenca tales como, altura máxima de 5602 msnm, una altura mínima de 2080 msnm y de la reclasificación de alturas se pudo elaborar una curva hipsométrica con la cual se identifica que la cuenca está en un estado maduro y en situación de equilibrio.

Figura 30

Red hídrica y pendiente de cuenca de interés



Nota. De la identificación de alturas y cauces se lograron estimar los valores de pendiente de cuenca y el valor promedio de la pendiente del cauce que recorre el área completa de la cuenca, estimándose así los siguientes valores: la red hídrica es de orden 4, con una pendiente promedio de 0.11, una longitud de cauce de 678.87 km en total, en temas de pendiente de cuenca se estimó que toda la superficie en promedio presenta una pendiente de 0.068.

Tabla 15

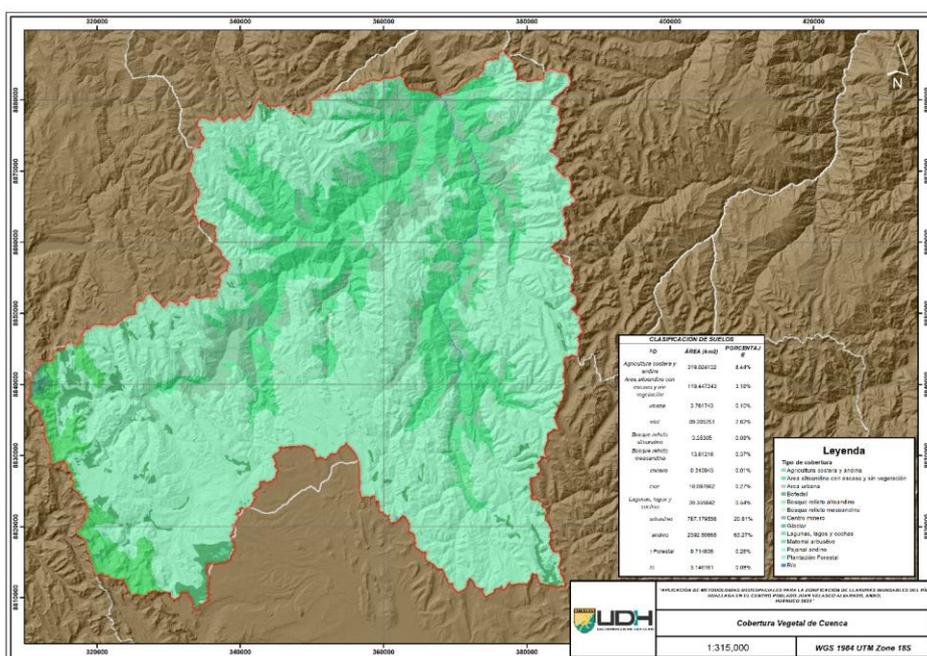
Parámetros geomorfológicos de la cuenca

VALORES GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUALLAGA			
CARACTERÍSTICAS	ÍTEM	UND	VALOR
GEOMÉTRICAS	ÁREA	km ²	3778,78
	PERÍMETRO	km	534,7
	LARGO	km	74,45
	ANCHO	km	73,15
RELIEVE Y PENDIENTE	MÁXIMA COTA	msnm	5602
	MÍNIMA COTA	msnm	2080
	VALOR DE PENDIENTE MEDIA	%	6,89
	VALOR DE CENTROIDE X	m	351736,76
	VALOR DE CENTROIDE Y	m	8847170,21
	ALTURA DE CENTROIDE	msnm	4070,469351
ÍNDICES	V. FACTOR DE FORMA	Adim.	0,14
	V. COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Adim.	2,44
	COEF. DE ELONGACIÓN	Adim.	0,93
	FACTOR DE CIRCULARIDAD	Adim.	0,17
RED HÍDRICA	ORDEN DE RED HÍDRICA	Adim.	4,00
	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL	km	165,36
	LONGITUD TOTAL DE LA RED HÍDRICA	km	678,87
	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	%	11,30

Nota. Con la caracterización de la cuenca se lograron establecer los valores de los índices de forma con las cuales se puedan identificar características de la cuenca de manera numérica, con ello se determinó que el factor de forma es de 0.14, el coeficiente de compacidad es de 2.44, el valor del coeficiente de elongación es de 0.93 y el factor de circularidad es de 0.17.

Figura 31

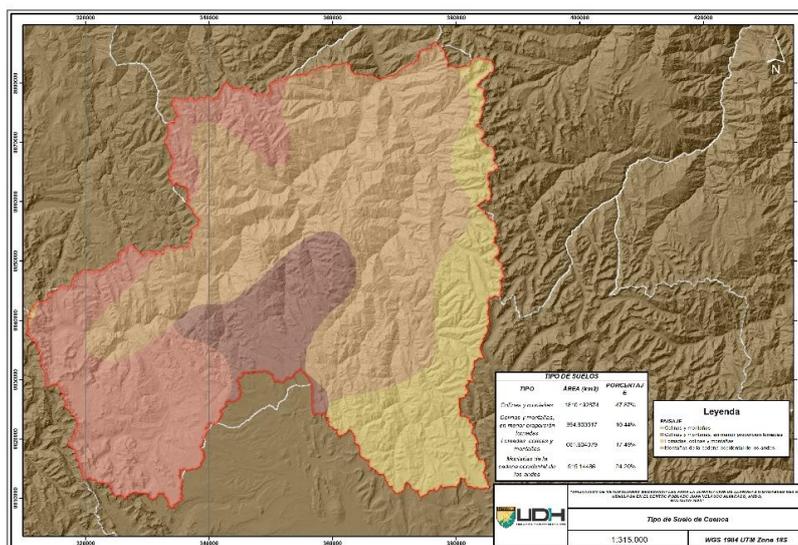
Cobertura Vegetal de cuenca de interés



Nota. De la delimitación para la cuenca de interés y con la caracterización de la cobertura vegetal a nivel nacional se pudo intersecar ambas capas y obtener una caracterización de cobertura de suelo para el área de interés, obteniéndose así un total de 13 tipos de coberturas delimitadas dentro del área de interés.

Figura 32

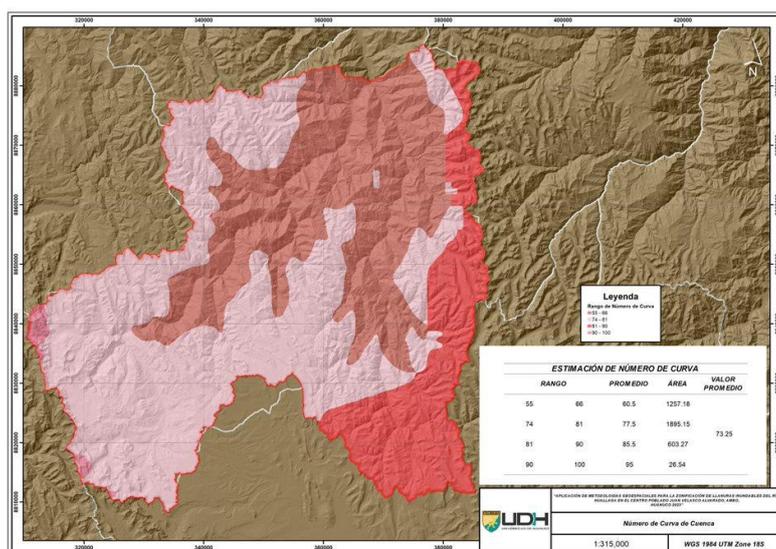
Tipo de suelo de la cuenca de interés



Nota. De la delimitación para la cuenca de interés y con la caracterización del tipo de suelo a nivel nacional se pudo intersectar ambas capas y obtener una caracterización de tipo de suelo para el área de interés, obteniéndose así un total de 04 tipos de suelo delimitadas dentro del área de interés.

Figura 33

Clasificación del Número de Curva de la cuenca de interés



Nota. A partir de la información geoespacial recopilada de los servidores públicos del estado peruano, se logró recopilar la capa shape en la cual se clasifican los suelos a

partir del número de curva tomados por rangos establecidos en la figura e intersecando con la delimitación de la cuenca de interés se logró determinar que en promedio la cuenca presenta un valor adimensional de 73.25.

Tabla 16

Valores paramétricos para el cálculo del coeficiente de escorrentía

VALOR DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA					
ÁREA (ha)	TIPO DE COBERTURA	TEXTURA	PENDIENTE	ZONA	COEFICIENTE
31902,41	Terreno cultivado	Franco arenosa	10	Urbana	0,4
11944,72	Pradera	Franco Arcillolimosa	12	Urbana	0,4
376,17	Forestal	Franco arenosa	5	Urbana	0,1
9920,53	Forestal	Franco Arcillo limosa	8	Urbana	0,35
325,31	Terreno cultivado	Arcillosa	8	Urbana	0,7
1381,22	Forestal	Franco Arcillo limosa	9	Urbana	0,35
34,09	Pradera	Franco Limosa	7	Urbana	0,35
1009,80					0,3
2035,56					0,3
78717,96	Forestal	Franco Arcillo limosa	5	Urbana	0,3
239280,67	Pradera	Franco Limosa	6	Urbana	0,35
971,48	Forestal	Franco arenosa	10	Urbana	0,25
314,62					0,4
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA					0,34

Nota. A partir de los parámetros característicos de suelo se establecen los valores para la estimación del coeficiente de escorrentía con el cual se establecen los valores que afectan directamente a la escorrentía y a los valores de tiempo de concentración de la cuenca, para el área de interés se estimó que el valor del coeficiente de escorrentía es aproximadamente 0.34.

Tabla 17

Valores de tiempo de concentración

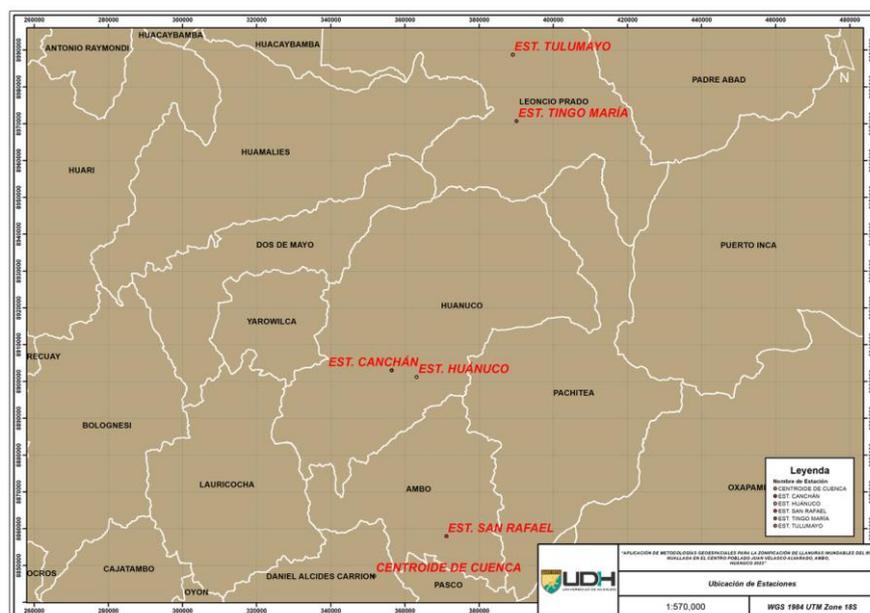
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN									
KIRPIC H	TEME Z	JOHN CROS S	GIANDOT TI	SCS RANCE R	V.T. CHOW	CUERP O ING. USA	HATHWA Y	EC. FED. AVIATIO N	EC. RETARD O SCS
7,83 hr	9,18 hr	10,25 hr	4,52 hr	14,90 hr	14,42 hr	20,56 hr	7,17 hr	7,50 hr	29,60 hr
12,00 hr									

Nota. Con la caracterización de suelo y la determinación del valor del número de curva que caracteriza en promedio a la cuenca de interés se puede establecer los parámetros para el cálculo del tiempo de concentración con el cual se establezcan los modelos de escorrentía dentro de la cuenca, a partir de los valores estimados se pudo determinar que el valor de tiempo de concentración es de 12 hrs o su equivalente 720 min.

4.1.2. LLUVIAS

Figura 34

Ubicación de estaciones pluviométricas



Nota. Para el análisis de las lluvias que se generen dentro de la cuenca de interés fue necesario identificar las estaciones del Servidor Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), dichas estaciones servirán de base para la interpolación de

valores de lluvia en las zonas de interés, dichas estaciones tomadas en cuenta son las de San Rafael, Huánuco, Canchán, Tingo María y Tulumayo.

Tabla 18

Ubicación de estaciones pluviométricas

UBICACIÓN DE ESTACIONES		
Estación	Latitud	Longitud
<i>Canchán</i>	9°55'15.43"	76°18'34.62"
<i>Huánuco</i>	9°56'16.08"	76°14'52.55"
<i>San Rafael</i>	10°19'45.03"	76°10'35.70"
<i>Tingo María</i>	9°18'36.6"	76°00'1.80"
<i>Tulumayo</i>	9°8'49.4"	76°00'33.97"
<i>Centro de Cuenca</i>	10°25'18.6"	76°21'16.2"

Nota. Identificadas las estaciones es necesario saber las ubicación en coordenadas de cada una de ellas, incluido el centroide de la cuenca de interés, esto con la finalidad de estimar una interpolación a partir de las ubicaciones de las lecturas realizada, a fin de establecer valores que completen a los registros históricos que no se hayan registrado o presenten una anomalía, de la misma manera se plantea una estación ficticia en el centroide de la cuenca estimando así valores de precipitación en específico.

Tabla 19

Estación Canchán con valores corregidos y completados

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	CANCHÁN			LONGITUD:	76°18'34.62"	LATITUD:	9°55'15.43"	ELEVACIÓN:			1986 msnm				
AÑO	EN E	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SE T	OC T	NO V	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	15,0 6	20,6 3	9,41	19,30	4,81	0,30	4,46	1,57	7,86	6,20	6,00	19,80	9,62	0,30	20,63
1989	22,0 0	12,2 0	13,4 0	7,60	4,20	3,00	8,60	0,00	12,6 0	18,0 0	6,60	65,40	14,47	0,00	65,40
1990	18,1 0	7,50	9,20	12,50	13,0 0	7,50	0,20	2,00	5,50	14,5 0	15,0 0	7,80	9,40	0,20	18,10
1991	5,60	12,4 0	0,00	5,60	5,00	5,30	0,00	0,00	7,00	15,0 0	12,7 0	17,50	7,18	0,00	17,50
1992	8,70	12,0 0	12,1 0	7,50	3,00	2,60	0,17	21,00	3,30	6,00	25,1 5	10,48	9,33	0,17	25,15
1993	13,1 7	10,8 0	27,3 0	16,30	19,0 0	4,70	1,00	1,30	9,10	9,40	15,4 0	12,50	11,66	1,00	27,30
1994	14,0 0	15,8 0	11,6 3	18,00	11,6 0	1,30	0,70	0,23	20,6 1	13,3 0	13,2 0	21,90	11,86	0,23	21,90
1995	15,0 0	15,6 0	16,7 0	8,50	2,44	2,00	0,00	0,00	7,40	4,50	6,30	13,30	7,65	0,00	16,70
1996	8,60	8,50	13,4 0	17,70	7,70	0,80	1,00	1,50	4,80	10,4 0	10,2 0	11,20	7,98	0,80	17,70
1997	22,7 0	7,00	15,0 0	4,20	6,10	9,50	0,00	5,20	5,60	8,30	7,00	11,20	8,48	0,00	22,70
1998	16,8 0	15,2 0	24,8 0	2,90	3,30	1,20	0,00	0,50	5,40	6,50	22,2 0	14,00	9,40	0,00	24,80
1999	16,9 0	25,1 0	21,9 0	4,00	6,20	4,40	2,20	1,00	7,60	5,00	11,0 0	14,40	9,98	1,00	25,10
2000	12,8 0	12,5 0	11,6 0	6,20	3,60	6,80	4,40	12,10	8,30	15,1 0	7,00	28,10	10,71	3,60	28,10
2001	24,7 0	7,50	16,1 0	19,00	5,20	2,20	4,50	2,80	5,00	18,0 0	60,5 0	17,80	15,28	2,20	60,50

2002	13,3 0	12,3 0	29,6 0	20,10	5,80	1,00	9,60	4,10	4,50	21,3 0	8,70	14,40	12,06	1,00	29,60
2003	14,5 0	14,4 0	14,4 0	12,60	2,60	0,00	0,00	6,80	7,70	29,0 0	17,1 0	22,30	11,78	0,00	29,00
2004	7,30	19,4 0	33,2 0	9,70	17,4 0	5,00	4,00	4,60	10,0 0	12,8 0	6,20	18,20	12,32	4,00	33,20
2005	13,1 0	25,2 0	16,8 0	7,00	0,50	0,00	2,70	17,90	5,00	11,8 0	13,1 0	33,00	12,18	0,00	33,00
2006	31,6 0	17,1 0	19,5 0	9,00	4,50	4,80	1,00	1,40	6,30	26,8 0	19,5 0	15,40	13,08	1,00	31,60
2007	16,8 0	2,70	11,2 0	6,00	8,00	0,00	2,20	3,00	4,10	37,1 0	8,60	26,90	10,55	0,00	37,10
2008	28,1 0	20,3 0	10,9 0	14,20	3,90	1,10	1,60	1,60	18,4 0	9,50	24,5 0	29,60	13,64	1,10	29,60
2009	27,0 0	26,9 0	25,2 0	23,70	5,10	14,6 0	4,30	0,70	3,70	11,8 0	12,1 0	16,20	14,28	0,70	27,00
2010	4,10	16,7 0	28,6 0	17,90	6,00	0,00	2,40	3,60	12,5 0	14,5 0	19,0 0	11,40	11,39	0,00	28,60
2011	15,7 0	8,70	21,3 0	7,10	14,2 0	0,00	1,80	3,50	5,10	19,1 0	13,7 0	24,40	11,22	0,00	24,40
2012	17,5 0	18,1 0	15,4 0	13,20	3,00	1,50	4,20	3,10	2,40	16,8 0	20,6 0	23,70	11,63	1,50	23,70
2013	9,20	13,2 0	21,3 0	21,70	1,80	16,0 0	7,60	15,60	3,20	14,6 0	17,8 0	14,30	13,03	1,80	21,70
N° DE DATOS	26,0 0	26,0 0	26,0 0	26,00	26,0 0	26,0 0	26,0 0	26,00	26,0 0	26,0 0	26,0 0	26,00			
DESV. ESTANDAR	6,92	6,02	7,63	6,20	4,75	4,29	2,73	5,73	4,42	7,72	10,8 9	11,36			
COEF. VARIACIÓN	0,44	0,41	0,44	0,52	0,74	1,17	1,03	1,29	0,60	0,53	0,71	0,57			
PRECIP. PROM	15,8 6	14,5 3	17,3 1	11,98	6,46	3,68	2,64	4,43	7,42	14,4 3	15,3 5	19,81			
PRECIP. MÁX	31,6 0	26,9 0	33,2 0	23,70	19,0 0	16,0 0	9,60	21,00	20,6 1	37,1 0	60,5 0	65,40			
PRECIP. MÍN	4,10	2,70	0,00	2,90	0,50	0,00	0,00	0,00	2,40	4,50	6,00	7,80			

Nota. Con la identificación de las estaciones de interés se procedió a tomar de manera organizada los valores de lluvia registrados por cada una de las estaciones con la cual se trabaja a fin de establecer si la serie de datos es consistente o presenta alteraciones y faltas de lectura en temporadas, se presentaron registros históricos con faltas de lecturas de precipitación por periodos mensuales, con lo cual se estableció un promedio de precipitación que relaciona al valor registrado con la distancia que se presenta entre estaciones. (Cada una de las tablas de registro se adjuntan en los anexos de la presente investigación). Fuente: (SENAMHI, 2022)

Tabla 20

Estación ficticia en el centroide de cuenca

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	CENTROIDE CUENCA			DE	LONGIT UD:	76°21'16.2"			LATIT UD:	10°25'18.6"			ELEVACIÓN:		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MA Y	JU N	JU L	AGO	SE T	OC T	NO V	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	37,42	25,10	15,98	18,30	4,36	0,9 1	2,2 1	2,54	14, 81	10, 64	18, 22	15,58	13,84	0,91	37,42
1989	19,69	18,46	17,81	13,36	6,30	8,0 2	4,4 8	9,52	14, 03	19, 83	33, 18	24,58	15,77	4,48	33,18
1990	18,84	13,85	17,87	18,61	5,89	3,3 2	5,5 3	2,21	3,2 9	14, 64	11, 10	9,46	10,39	2,21	18,84
1991	15,40	13,05	15,43	12,67	6,29	6,2 0	4,9 6	3,75	8,5 8	15, 42	20, 87	21,19	11,99	3,75	21,19
1992	13,66	27,24	16,66	12,91	8,43	7,3 9	2,7 1	21,30	8,5 2	13, 53	15, 86	11,46	13,31	2,71	27,24
1993	13,13	11,90	15,08	11,22	6,23	3,2 9	4,9 9	5,28	12, 22	18, 16	21, 39	36,34	13,27	3,29	36,34
1994	24,67	34,23	19,58	17,98	10,0 1	2,0 7	2,6 9	2,44	15, 43	18, 82	11, 20	34,00	16,09	2,07	34,23
1995	24,82	30,19	34,60	15,35	15,6 0	11, 68	2,9 6	3,29	16, 28	20, 80	23, 89	29,28	19,06	2,96	34,60
1996	18,66	17,33	21,64	24,16	11,2 5	6,4 2	1,3 4	4,36	18, 00	7,1 5	20, 40	16,42	13,93	1,34	24,16
1997	15,72	17,31	13,21	14,37	6,25	2,8 5	1,5 4	7,61	10, 37	20, 19	16, 26	47,21	14,41	1,54	47,21

1998	28,25	28,05	26,12	8,40	9,49	8,63	0,78	5,70	7,11	20,40	22,02	23,13	15,67	0,78	28,25
1999	19,72	24,82	23,64	9,59	11,54	10,33	4,47	10,37	16,49	7,35	19,38	16,82	14,54	4,47	24,82
2000	17,45	20,35	20,83	12,29	4,42	14,67	5,80	14,20	11,61	10,93	9,37	26,80	14,06	4,42	26,80
2001	25,74	17,66	18,47	18,65	7,92	5,89	6,55	7,28	10,24	16,77	45,30	25,33	17,15	5,89	45,30
2002	13,36	19,29	23,99	15,28	12,79	3,98	16,99	2,44	7,65	29,22	13,73	23,18	15,16	2,44	29,22
2003	10,30	12,54	16,35	45,86	6,73	8,10	0,95	20,99	10,89	13,27	28,63	22,30	16,41	0,95	45,86
2004	26,36	17,45	23,24	12,28	16,04	7,37	6,55	5,32	23,97	20,82	22,57	20,18	16,85	5,32	26,36
2005	11,64	33,30	27,58	5,25	2,17	2,09	2,77	11,02	11,05	14,98	16,78	17,66	13,02	2,09	33,30
2006	19,59	18,09	15,98	11,24	2,83	6,30	5,93	6,44	15,84	20,28	29,57	18,25	14,20	2,83	29,57
2007	22,36	10,22	24,29	8,55	8,59	1,13	25,64	4,34	10,60	22,73	13,97	25,85	14,86	1,13	25,85
2008	19,09	27,57	11,99	10,09	6,91	6,10	2,95	2,34	36,45	17,06	26,24	21,84	15,72	2,34	36,45
2009	20,42	20,38	26,07	17,27	15,03	6,73	7,54	5,48	9,14	14,28	16,38	22,43	15,10	5,48	26,07
2010	21,30	21,48	25,16	20,03	14,93	4,20	8,41	5,79	6,81	13,80	14,56	23,08	14,96	4,20	25,16
2011	19,00	18,89	17,04	20,06	15,02	1,98	2,81	4,81	12,99	21,64	14,80	21,06	14,18	1,98	21,64
2012	16,61	20,54	18,14	23,48	6,65	6,64	2,80	6,31	3,30	16,60	24,05	33,70	14,90	2,80	33,70
2013	17,28	25,66	18,67	17,77	5,18	12,14	10,31	13,37	11,32	24,37	25,44	36,52	18,17	5,18	36,52
N° DE DATOS	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00		
DES. ESTANDAR	5,86	6,50	5,18	7,70	4,12	3,53	5,35	5,24	6,66	5,12	7,86	8,36			
COEF. VARIACIÓN	0,30	0,31	0,26	0,48	0,47	0,58	0,96	0,72	0,53	0,30	0,38	0,35			
PRECIP. PROM	19,63	20,96	20,21	15,96	8,73	6,09	5,56	7,25	12,58	17,06	20,58	23,99			
PRECIP. MÁX	37,42	34,23	34,60	45,86	16,04	14,67	25,64	21,30	36,45	29,87	45,30	47,21			
PRECIP. MÍN	10,30	10,22	11,99	5,25	2,17	0,91	0,78	2,21	3,29	7,15	9,37	9,46			

Nota. Con los valores de lluvia establecidos para cada una de las estaciones se pudo promediar el valor de lectura de precipitación de acuerdo a las distancias que se presenten con respecto al centro de la cuenca, con ello se estableció un punto de comparación de valores de precipitación. Fuente: (SENAMHI, 2022)

Tabla 21

Información de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua

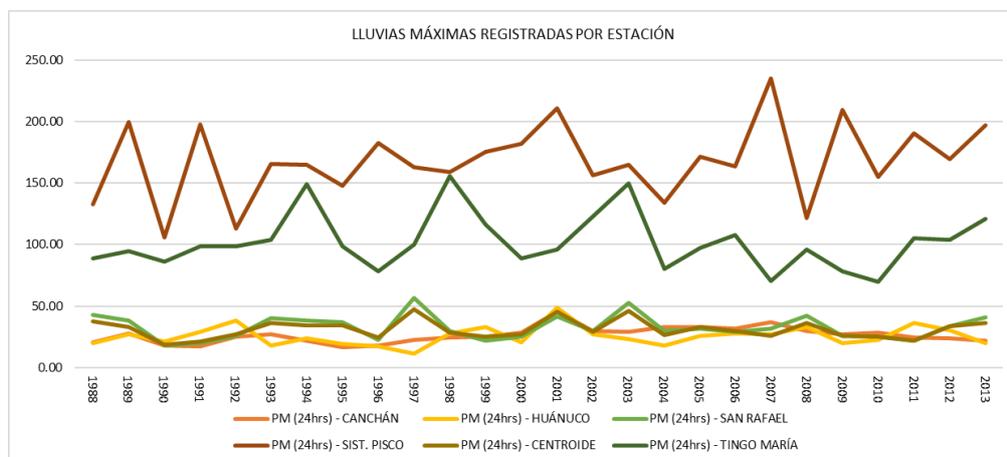
REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	SISTEMA PISCO			LONGITUD:	76°21'16.2"			LATITUD:	10°25'18.6"			ELEVACIÓN:	-		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	128,00	64,48	133,04	73,31	8,16	1,52	0,63	5,53	7,02	16,82	36,98	107,90	48,62	0,63	133,04
1989	125,90	132,56	199,64	29,84	8,50	16,03	11,00	9,71	12,70	56,03	24,04	25,78	54,31	8,50	199,64
1990	105,79	70,11	89,57	20,23	4,25	10,99	7,97	2,92	3,65	89,77	63,28	76,32	45,40	2,92	105,79
1991	79,97	107,83	197,99	30,72	12,55	2,47	8,15	1,51	11,52	60,24	41,60	57,52	51,01	1,51	197,99
1992	37,86	52,98	113,25	37,06	4,92	7,88	6,91	8,24	10,30	67,87	32,75	49,05	35,76	4,92	113,25
1993	88,07	104,18	160,16	60,70	8,75	1,28	12,17	9,38	23,56	85,61	94,11	165,37	67,78	1,28	165,37
1994	116,22	165,02	155,68	62,76	14,40	5,30	3,57	5,36	18,44	41,06	55,93	104,31	62,34	3,57	165,02
1995	88,14	97,05	147,71	58,62	12,03	16,23	5,47	9,80	22,29	68,93	56,41	114,14	58,07	5,47	147,71
1996	102,40	153,08	182,82	65,31	9,62	6,88	2,11	14,98	19,57	39,31	39,13	72,85	59,01	2,11	182,82
1997	94,86	114,99	68,88	25,66	6,42	1,68	2,16	18,02	15,12	48,93	59,73	163,02	51,62	1,68	163,02
1998	132,68	159,05	156,77	38,73	4,72	12,30	0,40	5,91	11,69	81,40	57,00	86,06	62,23	0,40	159,05

1999	110,48	175,67	161,95	36,33	17,15	16,78	7,50	8,49	39,80	46,06	60,59	100,92	65,14	7,50	175,67
2000	119,84	136,86	182,01	45,65	14,46	11,12	8,68	28,92	13,65	59,66	34,64	145,78	66,77	8,68	182,01
2001	147,90	120,42	210,91	48,20	13,39	8,39	24,72	10,94	18,48	62,36	76,98	110,41	71,09	8,39	210,91
2002	33,63	116,13	156,65	48,22	15,32	4,97	29,29	8,33	19,12	88,00	53,79	113,51	57,25	4,97	156,65
2003	88,53	96,30	165,08	64,16	12,88	10,10	1,16	19,80	13,91	29,10	53,49	130,57	57,09	1,16	165,08
2004	42,16	104,55	93,41	30,22	10,65	21,27	12,60	14,05	27,63	79,45	64,06	134,14	52,85	10,65	134,14
2005	56,99	115,12	171,42	32,89	6,02	1,11	8,81	14,74	17,29	60,44	53,29	87,90	52,17	1,11	171,42
2006	103,98	103,30	163,41	55,33	3,32	17,95	3,10	12,46	19,60	80,27	70,61	118,83	62,68	3,10	163,41
2007	86,76	54,58	234,97	52,41	8,11	0,84	19,68	7,69	8,96	75,70	53,60	90,07	57,78	0,84	234,97
2008	104,17	121,65	79,62	32,11	8,26	16,14	1,47	8,90	17,16	77,25	35,69	79,74	48,51	1,47	121,65
2009	110,23	130,51	209,54	63,29	9,81	12,51	19,13	24,07	11,70	39,01	82,29	125,55	69,80	9,81	209,54
2010	110,52	119,64	155,14	51,34	5,96	5,08	3,39	1,24	8,69	59,96	53,14	132,96	58,92	1,24	155,14
2011	156,51	136,40	190,35	61,81	7,62	0,77	8,54	6,05	13,13	60,22	49,41	178,57	72,45	0,77	190,35
2012	86,71	169,59	95,91	96,00	7,04	23,85	8,18	3,22	16,32	60,90	74,50	157,61	66,65	3,22	169,59
2013	145,72	146,46	196,92	42,37	12,47	18,92	11,29	23,01	13,72	94,97	61,02	100,75	72,30	11,29	196,92
N° DE DATOS	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
DES. ESTANDAR	32,13	33,49	43,93	17,40	3,76	7,05	7,43	7,13	7,24	19,68	16,33	37,22			
COEF. VARIACIÓN	0,32	0,28	0,28	0,36	0,40	0,73	0,85	0,65	0,45	0,31	0,30	0,34			
PRECIP. PROM	100,15	118,02	156,65	48,59	9,49	9,71	8,77	10,90	15,96	62,67	55,31	108,83			
PRECIP. MÁX	156,51	175,67	234,97	96,00	17,15	23,85	29,29	28,92	39,80	94,06	94,11	178,57			
PRECIP. MÍN	33,63	52,98	68,88	20,23	3,32	0,77	0,40	1,24	3,65	16,82	24,04	25,78			

Nota. La Autoridad Nacional del Agua en su sistema integrado de información del agua recopiló información de llluvias a nivel nacional, de esta base de datos conformada se pudo recopilar información para un punto determinado ya que dentro de las funciones que presenta esta la extracción de valores en un determinado punto de ubicación, con ello y con la información promediada para el centroide de la cuenca se logrará elaborar un análisis de doble masa en la cual se establezcan cuáles son los valores con un alto grado de confiabilidad. Fuente: (SENAMHI, 2022)

Figura 35

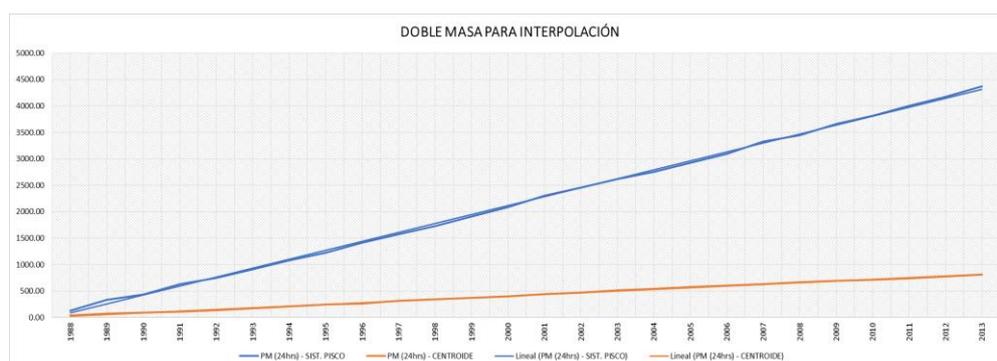
Resumen gráfico de precipitaciones por estación



Nota. A partir de los registros pluviométricos corregidos y completados para cada una de las estaciones consideradas y la estimación de los valores de precipitación de la estación ficticia se pueden identificar que los picos de incrementos de precipitación en algunos casos guardan relación entre cada una de las estaciones avizorando así que el ajuste fue correcto y que los valores están dentro de los límites correctos.

Figura 36

Resumen gráfico de precipitaciones por estación



Nota. A partir de los valores de la estación ficticia y con la información de la base de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua, se estimaron las curvas de masa para cada una de las estaciones, dando como evidencia el valor sobre incrementado de la precipitación brindada por el ANA, es por ello que para la presente investigación se tomó en consideración los valores de la estación ficticia para el modelo de intensidades con la finalidad de no sobre estimar resultados posibles de inundación.

Tabla 22

Datos de precipitación máxima

PP MAX EN 24 Hrs.	
ESTACIÓN:	CENTROIDE
LONGITUD:	-
LATITUD:	-
ELEVACIÓN:	-
AÑO	PM (24hrs)
1988	37.42
1989	33.18
1990	18.84
1991	21.19
1992	27.24
1993	36.34
1994	34.23
1995	34.60
1996	24.16
1997	47.21
1998	28.25
1999	24.82
2000	26.80
2001	45.30
2002	29.22
2003	45.86
2004	26.36
2005	33.30
2006	29.57
2007	25.85
2008	36.45
2009	26.07
2010	25.16
2011	21.64
2012	33.70
2013	36.52
# DE DATOS	26.00
SUMA	809.28
MÍNIMO	18.84
MÁXIMO	47.21
PROMEDIO	31.13
VARIANZA	57.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7.55
COEF. VARIACIÓN	0.24
COEF. SESGO	0.60

Nota. De la serie de las máximas precipitaciones se pudo estimar un total de 26 años con una desviación estándar de 7.55 y un coeficiente de sesgo de 0.60.

Tabla 23*Datos de precipitación máxima*

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV-SMIRNOV	
DISTRIBUCIÓN	Δ TEÓRICO
NORMAL	0,1040
LOG NORMAL 2P	0,0934
LOG NORMAL 3P	0,1008
GAMMA 2P	0,0913
GAMMA 3P	0,0867
GUMBEL	0,1173
LOG-GUMBEL	0,1536
	0,0867
CONCLUSIÓN	GAMMA 3P

Nota. Ya con la serie de datos pluviométricos identificados se establecen los valores de prueba de bondad estadística con lo cual se pudo estimar que los valores de delta teórico son 0.1040, 0.0934, 0.1008, 0.0913, 0.0867, 0.1173, 0.1536 para las distribuciones Normal, Log Normal 2p, Log Normal 3p, Gamma 2p, Gamma 3p, Gumbel y Log de Gumbel respectivamente. Con dichos valores se logró establecer que la distribución que más se ajusta a la serie de precipitaciones es la distribución Gamma 3P con un valor mínimo de delta teórico de 0.0867. (El proceso de cálculo se adjunta en los Anexos de la presente investigación).

Tabla 24*Valores de precipitación en diferentes periodos de retorno*

PRECIPITACIONES	
PERIODO DE RETORNO	PP (mm)
5	37,16
10	41,16
25	45,77
50	48,94
100	51,92
500	58,29

Nota. A partir de la identificación de la serie de distribución que mejor se ajusta a los datos de precipitación se pueden establecer valores de proyección en diferentes periodos de retorno, se logró determinar que los valores de precipitación son de 37.16, 41.16, 45.77, 48.94, 51.92 y 58.29 mm para 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.3. INTENSIDADES

Tabla 25

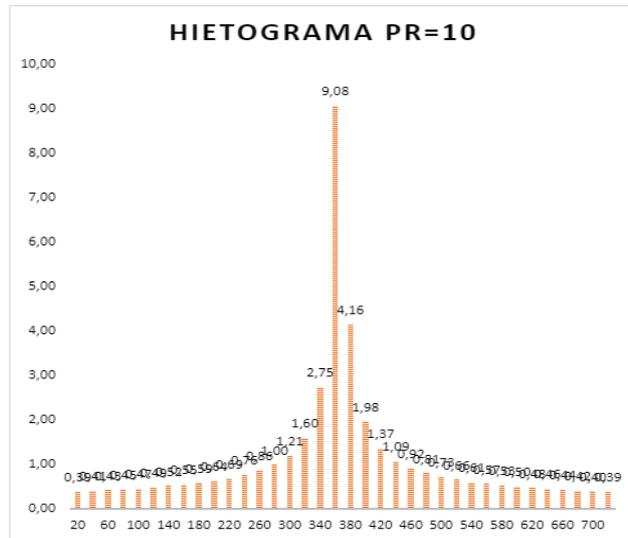
Valores de precipitación con coeficiente de reajuste

PRECIPITACIONES MÁXIMAS			
PERIODO DE RETORNO	PP	PROBABILID AD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2	30,38	0,50000	34,3294
5	37,16	0,80000	41,9908
10	41,16	0,90000	46,5108
25	45,77	0,96000	51,7201
50	48,94	0,98000	55,3022
100	51,92	0,99000	58,6696
105	52,12	0,99048	58,8956
500	58,29	0,99800	65,8677
1000	60,83	0,99900	68,7379
10000	67,91	0,99990	76,7383

Nota. Con la serie de distribución identificada y sabiendo que la recolección de lecturas se hace una vez al día se plantea según los manuales de hidrología hacer un reajuste de las precipitaciones estimadas en diferentes periodos de retorno, este coeficiente se estima en 1.13 por las fallas que puedan existir dentro de las lecturas.

Figura 37

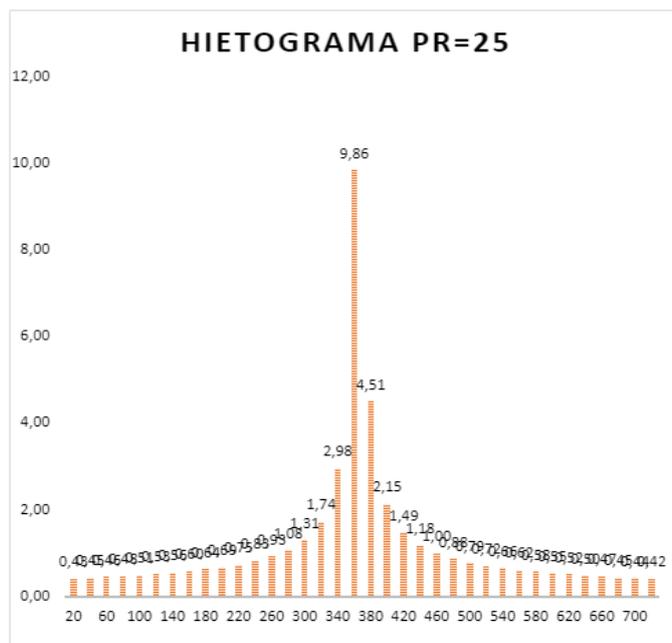
Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años



Nota. Para el planteamiento del hietograma de intensidades en diferentes periodos de retorno fue necesario basarse en los valores del tiempo de concentración de la cuenca el cual fue determinado como 12hrs o 720 min, y para un tiempo de retorno de 10 años hay una intensidad pico de 9.08 mm ocurrida a los 360 min del tiempo de concentración.

Figura 38

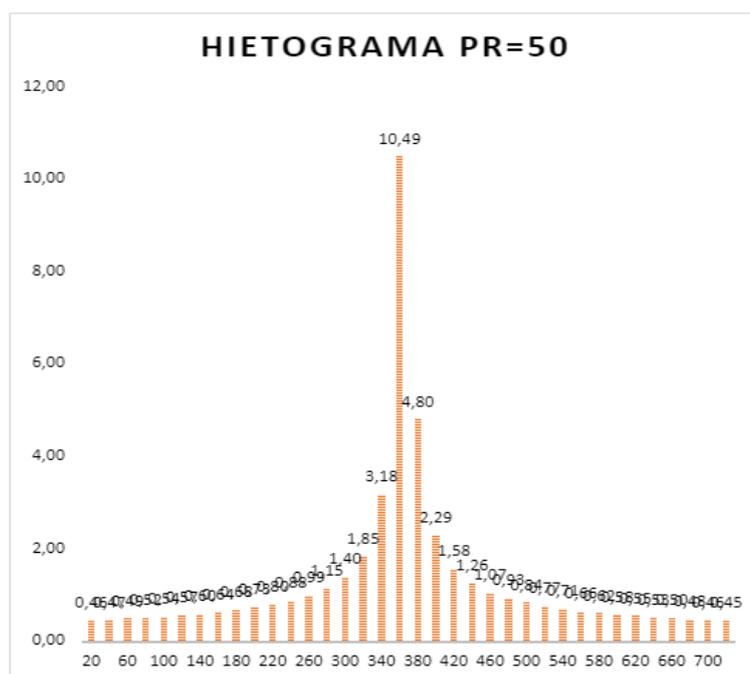
Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años



Nota. Para el planteamiento del hietograma de intensidades en diferentes periodos de retorno fue necesario basarse en los valores del tiempo de concentración de la cuenca el cual fue determinado como 12hrs o 720 min, y para un tiempo de retorno de 25 años hay una intensidad pico de 9.86 mm ocurrida a los 360 min del tiempo de concentración.

Figura 39

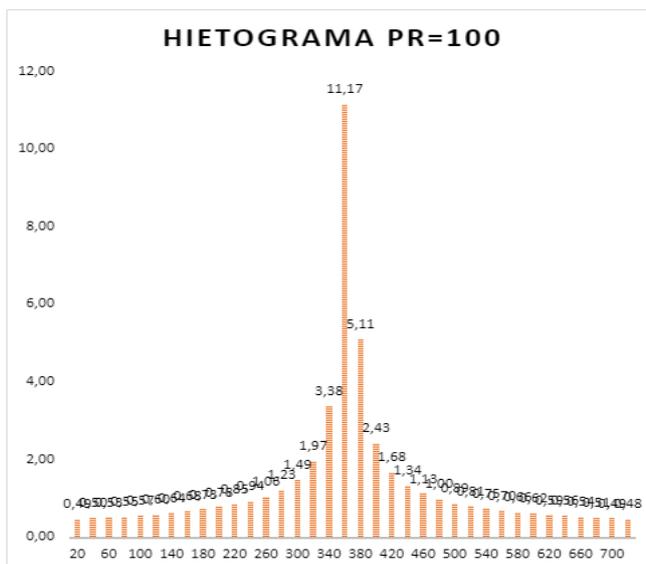
Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años



Nota. Para el planteamiento del hietograma de intensidades en diferentes periodos de retorno fue necesario basarse en los valores del tiempo de concentración de la cuenca el cual fue determinado como 12hrs o 720 min, y para un tiempo de retorno de 50 años hay una intensidad pico de 10.49 mm ocurrida a los 360 min del tiempo de concentración.

Figura 40

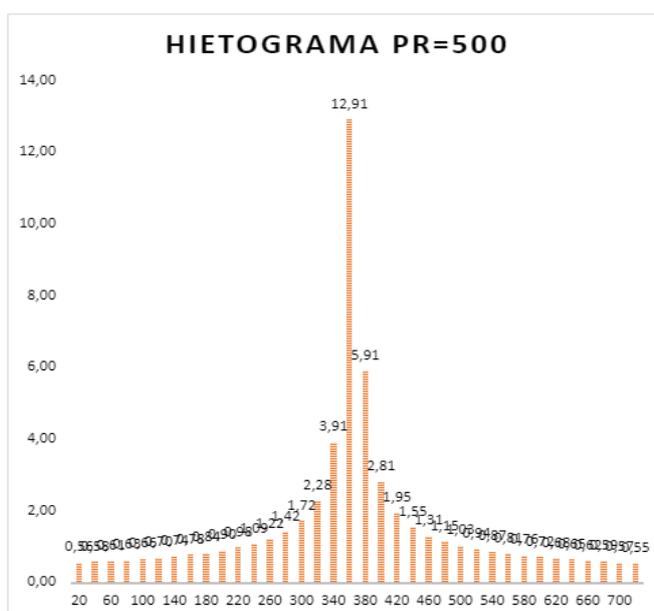
Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años



Nota. Para el planteamiento del hietograma de intensidades en diferentes periodos de retorno fue necesario basarse en los valores del tiempo de concentración de la cuenca el cual fue determinado como 12hrs o 720 min, y para un tiempo de retorno de 100 años hay una intensidad pico de 11.17 mm ocurrida a los 360 min del tiempo de concentración.

Figura 41

Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años

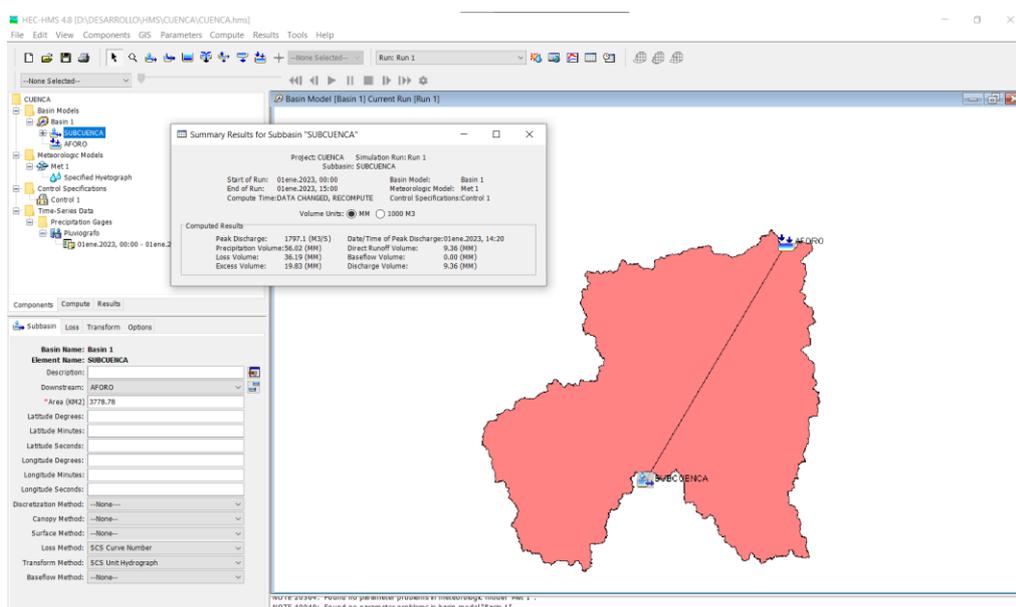


Nota. Para el planteamiento del hietograma de intensidades en diferentes periodos de retorno fue necesario basarse en los valores del tiempo de concentración de la cuenca el cual fue determinado como 12hrs o 720 min, y para un tiempo de retorno de 500 años hay una intensidad pico de 12.91 mm ocurrida a los 360 min del tiempo de concentración.

4.1.4. CAUDALES

Figura 42

Interfáz HEC-HMS



Nota. Con la delimitación de la cuenca realizada en el software ArcGIS, se hizo un modelo referencial en el software Hec-HMS, dicho programa brindó la interfaz para un trabajo simplificado en la estimación de caudales por la metodología del número de curva.

Figura 43*Estimación de caudales para un PR=50 años*

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	1253.9	01ene.2023, 14:20	6.66

Nota. Para un periodo de retorno de 50 años y con una estimación a partir de la metodología del número de curva para el cálculo de caudales de diseño se pudo estimar que el caudal para ese periodo es de 1253.9 m³/s.

Tabla 26*Valores de caudal para diferentes periodos de retorno*

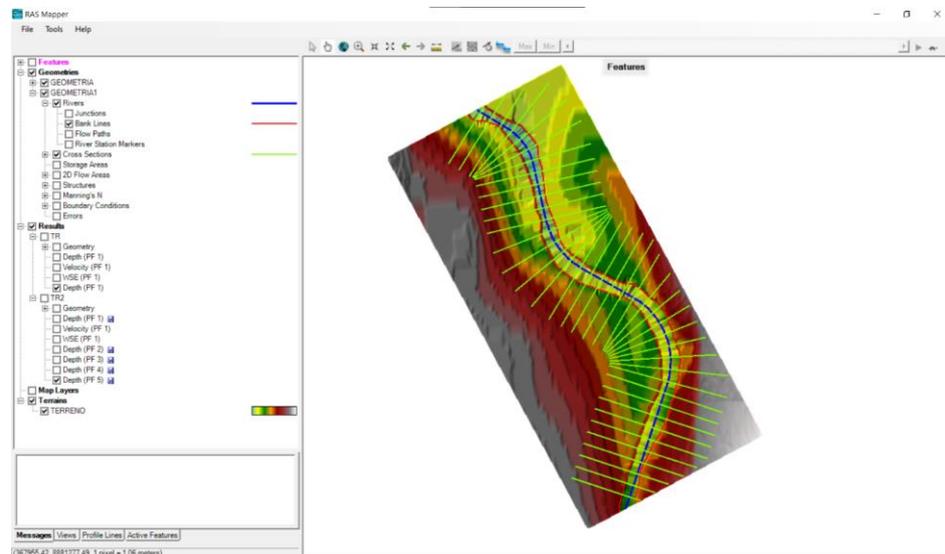
CAUDAL DE DISEÑO			
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL	VALORES REAJUSTADO
10	976,00	1059,020	1268,800
25	1125,00	1150,121	1462,500
50	1253,90	1224,207	1630,070
100	1397,80	1303,065	1817,140
500	1797,10	1506,319	2336,230

Nota. Con la metodología del SCS y con la aplicación del software HEC-HMS se pudo establecer que lo valores de caudal son de 976.00, 1125.00, 1253.90, 1397.80 y 1797.10 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente, dichos valores están sometidos a un factor de seguridad para la dimensión de obras hidráulicas y/o estimación segura del desplazamiento de agua en zonas de faja marginal.

4.1.5. INUNDACIONES

Figura 44

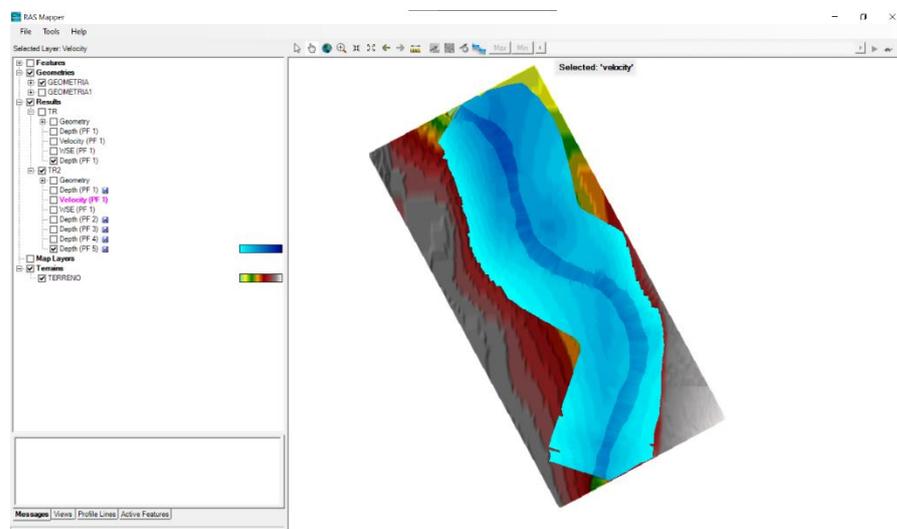
Área de interés



Nota. Identificado los valores de caudal a nivel de cuenca se procede a establecer e identificar los factores topográficos del área de interés con el cual se elaboró el modelo de inundación, juntamente con ello se plantean las secciones de interés, el eje del cauce y los márgenes del cauce.

Figura 45

Estimación de base para PR=500 años

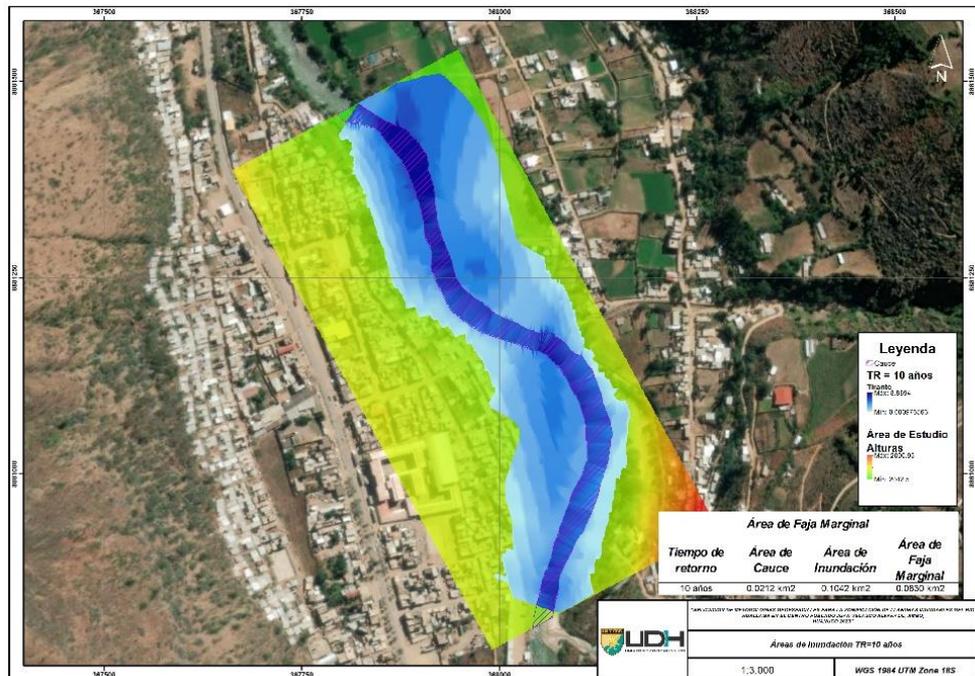


Nota. Con los valores de caudal estimados y aplicados los valores de coeficientes de corrección y con el modelo de terreno se elaboraron los modelos de simulación en el software HEC-RAS con la cual se pueden identificar las zonas de inundación dentro del cauce del río Huallaga.

4.1.6. CARTOGRAFÍA

Figura 46

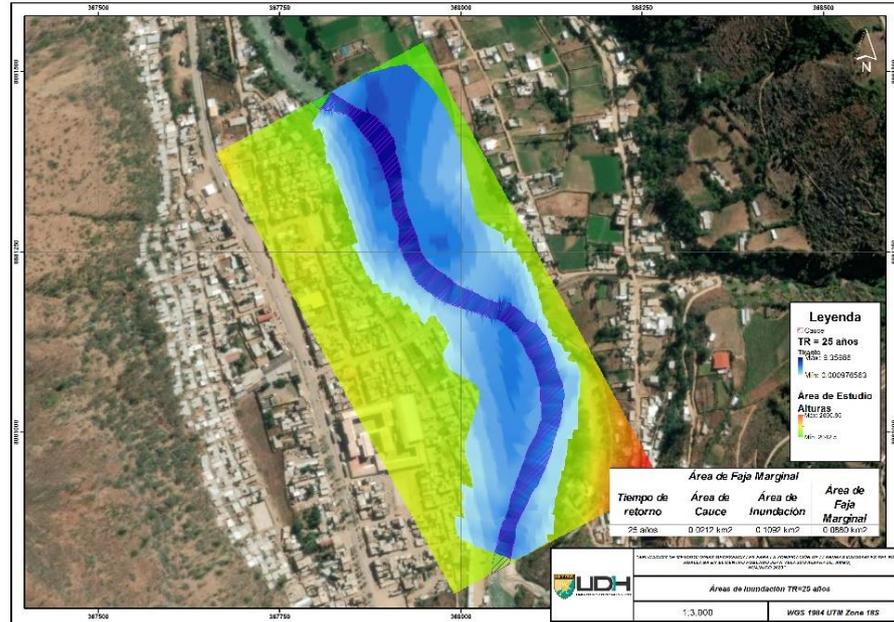
Área de inundación para un PR=10 años



Nota. A partir de los valores de caudal estimados y aplicado el coeficiente de seguridad para un periodo de retorno de 10 años se estimó un área de inundación de 0.1042 km² y una faja marginal de 0.0830 km².

Figura 47

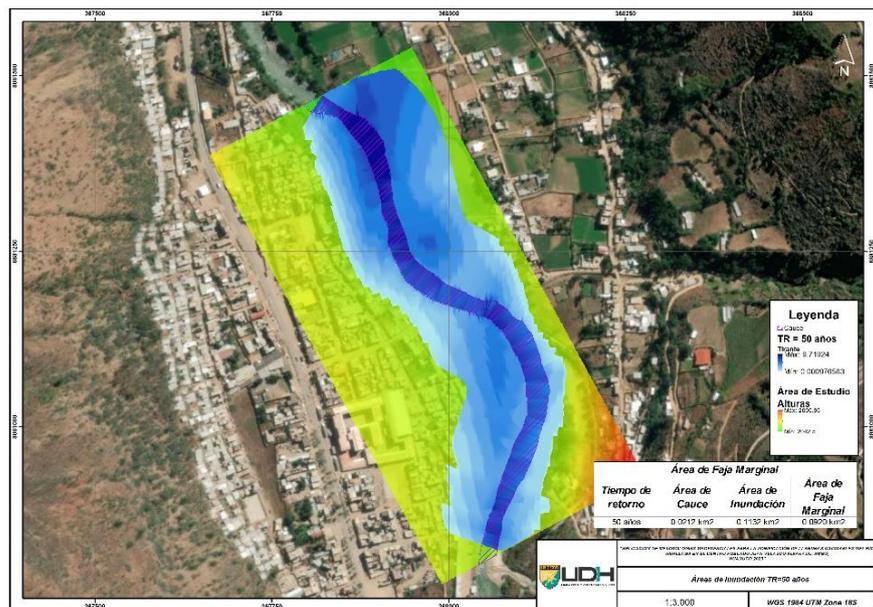
Área de inundación para un PR=25 años



Nota. A partir de los valores de caudal estimados y aplicado el coeficiente de seguridad para un periodo de retorno de 25 años se estimó un área de inundación de 0.1092 km² y una faja marginal de 0.0880 km².

Figura 48

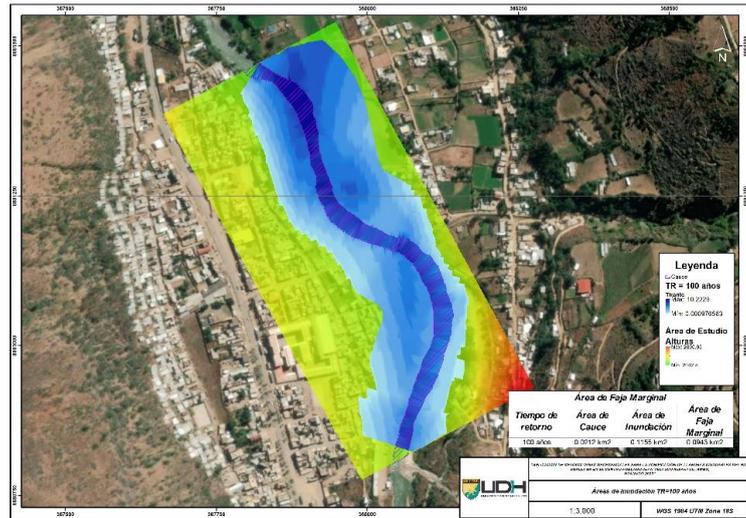
Área de inundación para un PR=50 años



Nota. A partir de los valores de caudal estimados y aplicado el coeficiente de seguridad para un periodo de retorno de 50 años se estimó un área de inundación de 0.1132 km² y una faja marginal de 0.0920 km².

Figura 49

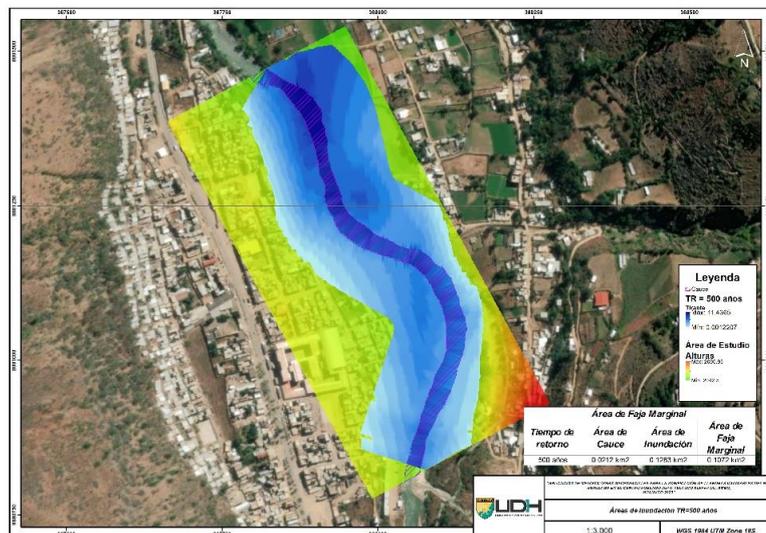
Área de inundación para un PR=100 años



Nota. A partir de los valores de caudal estimados y aplicado el coeficiente de seguridad para un periodo de retorno de 100 años se estimó un área de inundación de 0.1155 km² y una faja marginal de 0.0943 km².

Figura 50

Área de inundación para un PR=500 años



Nota. A partir de los valores de caudal estimados y aplicado el coeficiente de seguridad para un periodo de retorno de 500 años se estimó un área de inundación de 0.1283 km² y una faja marginal de 0.1072 km².

Tabla 27

Resumen de fajas de inundación

Área de Faja Marginal	
Tiempo de retorno	Área (km²)
10	0,0830 km ²
25	0,0880 km ²
50	0,0920 km ²
100	0,0943 km ²
500	0,1072 km ²

Nota. Con los valores estimados se realizan el cuadro de resúmenes en el cual se observa el incremento de área de inundación en cada uno de los periodos de retorno investigados.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.2.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL

Hp: Las metodologías geoespaciales facilitan y optimizan la determinación de las llanuras de inundación para el cauce del río Huallaga.

Con la estimación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca que se forma a partir del punto de aforo ubicado al inicio del tramo de interés, se pudo establecer que:

Tabla 28*Valores de parámetros geométricos*

VALORES GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUALLAGA			
CARACTERÍSTICAS	ÍTEM	UND	VALOR
GEOMÉTRICAS	ÁREA	km ²	3778.78
	PERÍMETRO	km	534.7
	LARGO	km	74.45
	ANCHO	km	73.15

Con los valores establecidos en la tabla anterior se pudo establecer las características relevantes para el modelo hidrológico de la cuenca, con ellos se establecen también los valores de tiempo de concentración como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 29*Tiempo de concentración*

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN									
KIRPIC H	TEM EZ	JOHN CROSS	GIAND OTTI	SCS RANCE R	V.T. CHOW	CUERPO ING. USA	HATH WAY	EC. FED. AVIATIO N	EC. RETAR DO SCS
7.83 hr	9.18 hr	10.25 hr	4.52 hr	14.90 hr	14.42 hr	20.56 hr	7.17 hr	7.50 hr	29.60 hr
12.00 hr									

Uno de los valores más relevantes para la estimación de caudales de una determinada cuenca es el valor del tiempo de concentración el cual fue estimado con un valor de 12 hrs o 720 min con el cual se lograron estimar los hietogramas de diseño y obtener los valores de caudal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 30*Caudales de diseño*

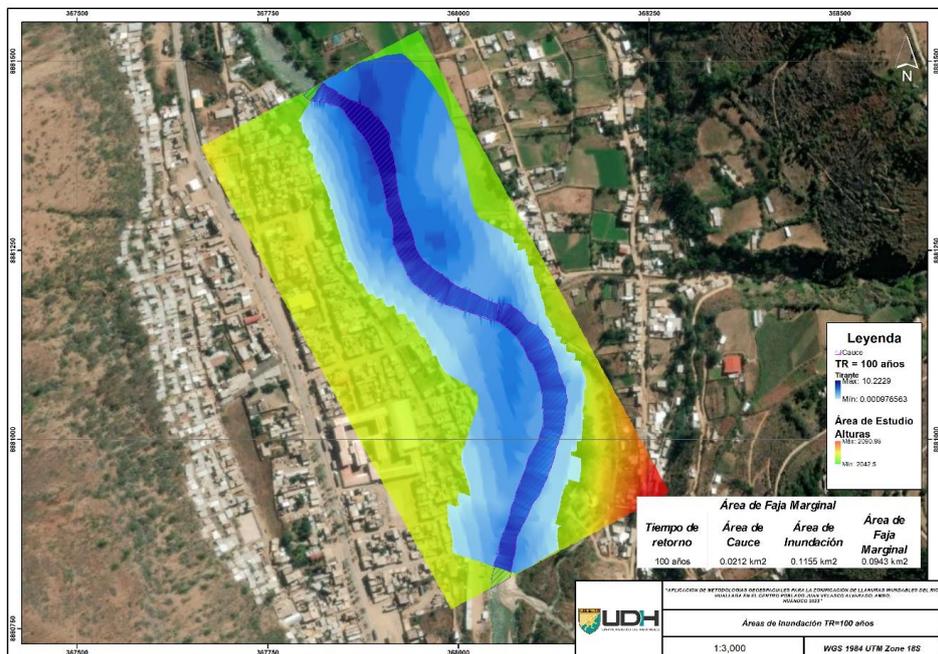
CAUDAL DE DISEÑO			
TIEMPO DE RETORNO	HEC- HMS	MET RACIONAL	VALORES REAJUSTADO
10	976.00	1059.020	1268.800
25	1125.00	1150.121	1462.500
50	1253.00	1224.207	1628.900

100	1397.80	1303.065	1817.140
500	1797.10	1506.319	2336.230

Con los valores de caudal obtenidos se lograron establecer los modelos de simulación de inundación con la cual se estimaron las áreas de llanuras de inundación para el cauce de interés con el cual se modelo la simulación.

Figura 51

Área de inundación para un PR=100 años



Con la estimación de los caudales se lograron establecer los parámetros de simulación de inundaciones, en dicho modelo de simulación se lograron establecer los valores de áreas de inundación y las llanuras de inundación que se forman para cada uno de los periodos de retorno, con ello se lograron cuantificar las áreas de la siguiente forma:

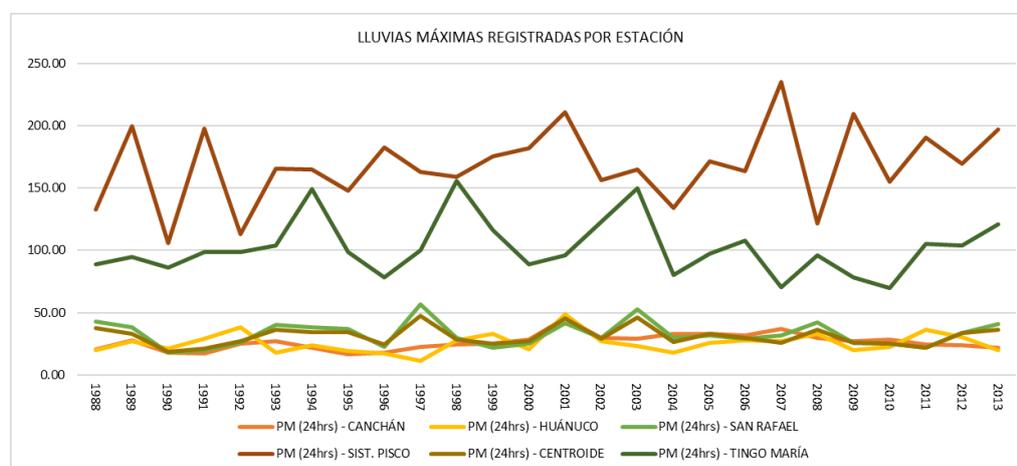
Tabla 31*Resumen de fajas de inundación*

ÁREA DE FAJA MARGINAL	
Tiempo de retorno	Área (km²)
10	0,0830 km ²
25	0,0880 km ²
50	0,0920 km ²
100	0,0943 km²
500	0,1072 km ²

Con los valores presentados en la tabla anterior se puede demostrar que a partir de un modelo geoespacial se pueden optimizar los modelos de llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga, a partir de ello se puede demostrar que la hipótesis es verdadera comprobándose a partir de los resultados obtenidos.

4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

He: Los valores de confiabilidad de la información pluviométrica de los servidores nacionales son superiores al 70% y presentan una correlación entre ellos.

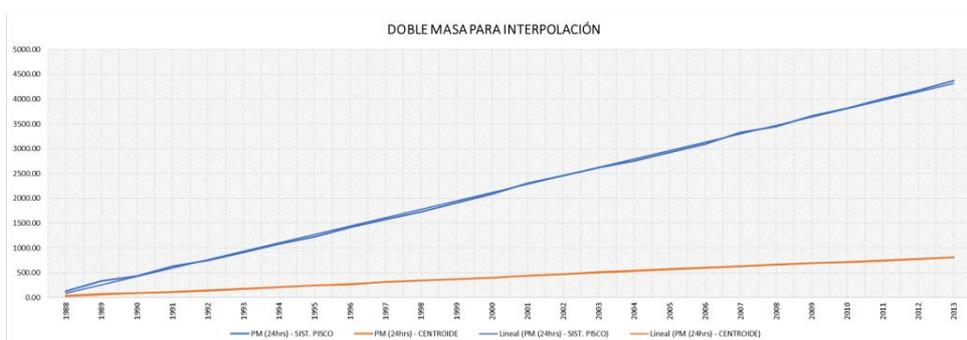
Figura 52*Resumen gráfico de precipitaciones por estación*

De la figura se puede observar que los valores presentan una relación tanto en rangos críticos y mínimos, de la figura se puede identificar que las estaciones de Tingo María y la extraída del sistema PISCO, se evidencian valores de precipitación superiores a los presentados en las otras estaciones.

He: A partir de la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de tendencias de los registros de pluviometría juntamente con la aplicación de una correlación temporal y espacial se puede demostrar que los valores presentan una confiabilidad superior al 70% para su aplicación en el modelo hidrológico.

Figura 53

Resumen gráfico de precipitaciones por estación



Para la determinación de la serie más adecuada para la elaboración del modelo hidrológico de la cuenca de interés se aplicó la metodología del análisis de doble masa con la cual se pudo identificar de manera visual que los valores de la estación PISCO se alejan de manera considerable de la media promedio dando así el descarte de esta misma y tomando en cuenta los valores de la estación interpolada para la elaboración del modelo.

Tabla 32*Datos de precipitación máxima*

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV-SMIRNOV	
DISTRIBUCIÓN	Δ TEÓRICO
NORMAL	0,1040
LOG NORMAL 2P	0,0934
LOG NORMAL 3P	0,1008
GAMMA 2P	0,0913
GAMMA 3P	0,0867
GUMBEL	0,1173
LOG-GUMBEL	0,1536
	0,0867
CONCLUSIÓN	GAMMA 3P

Seleccionada la serie de valores se estimó un estadístico de bondad el cual se ajuste a la serie muestral y con la que se estimen los valores proyectados de precipitación para diferentes periodos de retorno.

He: Con un incremento de los valores del periodo de retorno se evidencia un aumento proporcional de los valores de caudal del río Huallaga.

Tabla 33*Valores de caudal para diferentes periodos de retorno*

CAU			
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL	VALORES REAJUSTA DO
10	976,00	1059,020	1268,800
25	1125,00	1150,121	1462,500
50	1253,90	1224,207	1630,070
100	1397,80	1303,065	1817,140
500	1797,10	1506,319	2336,230

De la tabla se puede verificar que a medida que se incrementen los valores de periodo de retorno de manera general los valores de caudal también se incrementarán, el incremento de los caudales no es de manera proporcional ya que al ser analizado un fenómeno natural no se genera una proporción uniforme.

He: Los modelos de simulación de inundación son obtenidos a partir de información topográfica e hidrología identificada para la cuenca que forma el río Huallaga en el punto de aforo establecido al inicio del centro poblado Juan Velasco Alvarado.

Tabla 34

Resumen de fajas de inundación

Área de faja marginal	
Tiempo de retorno	Área (km²)
10	0,0830 km ²
25	0,0880 km ²
50	0,0920 km ²
100	0,0943 km ²
500	0,1072 km ²

Con los valores de caudal y el levantamiento topográfico de la zona se pudo identificar que para la ejecución de una simulación de inundaciones en una determinada cuenca se requiere de información topográfica generalizada que incluya a toda la cuenca de interés y de la misma forma un levantamiento detallado de la zona de interés ya que para la ejecución de la simulación se requiere de un cauce detallado en el cual pueda conducirse el cauce analizado.

He: La implementación de medidas no estructurales evidencian una mejora dentro de la prevención y mitigación de daños frente a inundaciones en el cauce del río Huallaga.

Identificados los puntos vulnerables frente a inundaciones en el cauce del río Huallaga, si se establecen charlas de información y se identifican los puntos de evacuación para la población se pueden mitigar los efectos dañinos para la comunidad y con ello disminuir el riesgo frente a inundaciones que ocasionalmente se puedan generar.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Criado (2019), se plantean como resultados de caudales de diseños los valores de 217.3, 524.4, 635.2 y 926.0 m³/s para los periodos de retorno de 5, 50, 100 y 500 años, si bien estos valores son los estimados para el tramo Tormes I de la investigación estos son los valores más altos registrados de la muestra, en comparación con los resultados obtenidos para la presente investigación fueron 976.00, 1253.00, 1397.80 y 1797.10 m³/s para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años respectivamente la variación tan alta de los valores obtenidos se puede establecer a partir de los parámetros geomorfológicos estimados para cada una de la cuencas ya que dentro de la caracterización se toma el factor de suelo como uno de los más relevantes al momento de calcular los coeficientes de escorrentía y los valores de tiempo de concentración, para la presente investigación el valor del coeficiente de escorrentía es de 0.34 y un tiempo de concentración de 12 horas, mientras que para la investigación de antecedente los valores de tiempo de concentración son menores a los estimados para la presente investigación. Para Valdez (2020), se estima que en la cuenca del río Molla los parámetros geométricos determinados son de un área de 116.66 km², con un valor de perímetro de 80.23 km y una pendiente de 0.0021 y un tiempo de concentración de 0.22 hrs, para la presente investigación se estimó que el área de la cuenca es de 3778.78 km², con un perímetro de 534.7 km y un valor de pendiente de cuenca de 0.0689 y con un valor de tiempo de concentración de 12 hrs, dichas variaciones son netamente geográficas pero los resultados de caudales determinados para el caso de la investigación de antecedente son alrededor de la tercera parte de los valores determinados para la presente investigación esto pues demuestra que al haber ciertas variaciones dentro de las cuencas van a variar los resultados de caudales, dicho de otra forma las cuencas con una mayor dimensión van a presentar mayores valores de caudales, evidencia de ello es que para un periodo de retorno de 500 años el valor de caudal estimado en la investigación de referencia es de 53.4 m³/s y para la presente investigación se estimó que el

caudal es de 1797.30 m³/s con lo cual se evidencia que las variaciones geométricas alteran los valores de caudal de la cuenca.

CONCLUSIONES

De la investigación se logró estimar que las llanuras de inundación que genera el río Huallaga en el tramo del centro poblado Juan Velasco Alvarado son 0.083, 0.088, 0.092, 0.0943 y 0.1072 km² para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente, a partir de ello se lograron identificar las imágenes cartográficas que evidencian las áreas más comprometidas frente a las inundaciones.

Para la recolección de información pluviométrica se tuvieron en cuenta las estaciones de Canchán, Huánuco, San Rafael, Tingo María y Tulumayo, estas estaciones sirvieron como base de datos para la interpolación de valores de precipitación en el centroide de cuenca, con el cual se determinaron los siguientes valores de precipitación 37.16, 41.16, 45.77, 48.94, 51.92 y 58.29 mm para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Cada una de las estaciones fueron sometidas a un análisis de consistencia de valores con lo cual se identificaron por periodos de tiempo considerables no se encontraban registrados valores, a partir del cual se rellenaron dichos valores con una ponderación de que relaciona valor y distancia y así estimar un promedio de valor de lluvia.

Para la cuenca a partir de las características de suelo y precipitación se estimaron que los valores de caudales críticos son de 976.00, 1125.00, 1253.90, 1397.80 y 1797.10 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Con los valores de caudal determinados se ingresaron los parámetros al software Hec-Ras a fin de estimar una simulación de crecidas de nivel de agua en el cauce del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado, de la simulación se pudo estimar que las áreas totales de inundación teniendo en cuenta el área del cauce fueron: 0.1042, 0.1092, 0.1132, 0.1155 y 0.1283 km² para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años.

De los modelos cartográficos obtenidos se estima que gran parte de la población afectada comprende al margen izquierdo del río Huallaga es necesario implementar una política de control y prevención para la población

que habita la zona, un sistema de alerta temprana sería una de las opciones más adecuadas para el planteamiento de mitigación de efectos.

RECOMENDACIONES

En la elaboración de modelos de inundación uno de los principales factores para la obtención de resultados fieles es la estimación de un modelo topográfico adecuado de la zona de interés ya que el software Hec-RAS aplica la simulación a partir de un modelo de terreno adecuado a la realidad.

Si bien los modelos de lluvia y escorrentía no se generan sin una base de datos de lluvia establecidas los valores de precipitación necesitan ser comparados con información validada, para la investigación se planteó una metodología Outlier con la cual se identificaron los valores anómalos y se corrigieron a partir de interpolaciones de distancia y valor.

Los valores faltantes en una serie de datos recolectados requieren de una corrección puntual mensual a partir de un promedio ponderado a partir de los valores de estaciones cercanas, para la cual se requiere que el modelo hidrológico sea sustentado por al menos 5 estaciones pluviométricas.

Los valores de caudales de diseño son directamente relacionados con las características de suelo que tenga el área de la cuenca de interés, es por ello que para las estimaciones de caudal es necesario tener una correcta caracterización de suelo, ya que con estas características los tiempos de concentración varían y por ende los caudales pueden ser o sobrestimados o subestimados.

El modelo de simulación en el software HEC-RAS requiere de una topografía definida y para el análisis de inundaciones las dimensiones del área de interés deben ser amplios para poder visualizar un adecuado comportamiento de los desplazamientos hídricos.

Las gestiones de prevención de riesgos deben estar controladas a partir de un ente estatal y/o privado que logre manejar aspectos sociales que comprenden a la comunidad afectada, con un trabajo en conjunto las acciones preventivas son más eficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaya, E. (2020). *Caracterización de los Modelamientos Hidráulicos Numéricos de Inundaciones Fluviales, Cajamarca 2020*. Universidad Privada del Norte.
- Azagra, A. (2007). *Hidrología Forestal: El Ciclo Hidrológico*. Universidad de Valladolid.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2023). *Escenarios de Riesgos por Superávit de Lluvias para Marzo-Mayo 2023*. CENEPRED.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill.
- Cotler, H. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Criado, M. (2019). *Determinación del riesgo de inundación en la ciudad de Salamanca (España) mediante análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad*. Universidad de Salamanca.
- Garay, G. (2021). *Análisis hidráulico para reducir riesgos de inundación del río Nupe, en el centro poblado de Pilcocancha, distrito de Rondos-Lauricocha-Huánuco-2019*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL.
- INDECI. (2011). *Grandes desastres por inundaciones en el Perú periodo 2001-2010*. INDECI.
- Mallqui, L. (2021). *Nivel de riesgo por inundación en la cuenca del río Huallaga sector San Rafael-Huánuco 2019*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Martinez, R. (2019). *Simulación numérica de inundaciones fluviales en las Omañas (León). Propuestas de medidas correctoras*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio de Agricultura. (1981). *Estudio de la cuenca del río Higueras - Huánuco*. DGAS.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Alfaomega.
- Montes-Guerra, M. I., Castro Silva, H. F., Quijano Brand, L., & Diez-Silva, H. M. (2014). *Análisis del proceso de Ejecución de proyectos con equipo*

de trabajo disgregado geográficamente. *18th International Congress on Project Management and Engineering*, 315-323.

Osés, N. (2020). *Valoración de riesgos por inundaciones*. Universidad Pública de Navarra e INARBE.

Sánchez, J. (2016). *El ciclo hidrológico*. USAL.

SENAMHI. (2022). Obtenido de SENAMHI:
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>

Tuesta, J. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por inundación del río Huallaga en la ciudad de Tingo María en un entorno SIG*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Universidad Nacional Agraria La Molina. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Valdez, J. (2020). *Evaluación hidráulica para estimar áreas de inundación del río Molla afluente del río Ilave*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez.

Villón, M. (2004). *Hidrología*. MaxSoft.

Vivanco, R. (2017). *Análisis comparativo del comportamiento hidráulico de un tramo del cauce del río Pachachaca aplicando HEC-RAS para el diseño de defensas ribereñas en el distrito de Calamarca-Julcán*. Universidad Privada Antenor Orrego.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Zavala Berrospi, N. (2023). *Aplicación de metodologías geoespaciales para la zonificación de llanuras inundables del río Huallaga en el centro poblado Juan Velasco Alvarado-Ambo-Huánuco-2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO-AMBO-HUÁNUCO-2023”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
	Objetivo General	Hipótesis Principal	Técnica
<p>Problema General</p> <p>¿De qué manera las metodologías geoespaciales ayudan en la determinación de las llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado en la localidad de Ambo?</p>	<p>Determinar a partir de metodologías geoespaciales las llanuras de inundación en el cauce del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado en la localidad de Ambo.</p>	<p>Hp: Las metodologías geoespaciales facilitan y optimizan la determinación de las llanuras de inundación para el cauce del río Huallaga.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo hidrológico • Información geográfica • Análisis temporal • Observación e identificación de terreno • Modelo de simulación <p style="text-align: center;">Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estaciones meteorológicas • Software de modelo hidrológico • Registros históricos • Software de análisis estadístico
	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿De qué manera se pueden encontrar los registros históricos precipitaciones de los servidores nacionales?</p>	<p>Recolectar información de los registros históricos de precipitación de los servidores nacionales.</p>	<p>He: Los valores de confiabilidad de la información pluviométrica de los servidores nacionales son superiores al 70% y presentan una correlación entre ellos.</p>	
<p>¿Cómo elaborar un modelo de terreno en el cual se puedan establecer las características del suelo y altitudinales?</p>	<p>Elaborar un modelo de terreno en el cual se puedan establecer las características del suelo y altitudinales.</p>	<p>He: A partir de la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de tendencias de los registros de pluviometría juntamente con la aplicación de una correlación temporal y espacial se puede demostrar que los valores presentan una confiabilidad superior al 70% para su aplicación en el modelo hidrológico.</p>	
<p>¿De qué manera influyen los valores de caudal crítico del río Huallaga para diferentes periodos de retorno?</p>	<p>Calcular los valores de caudal crítico del río Huallaga para diferentes periodos de retorno.</p>	<p>He: Con un incremento de los valores del periodo de retorno se evidencia un aumento proporcional de los valores de caudal del río Huallaga.</p>	
<p>¿Cómo elaborar un modelo de inundación frente a crecidas del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado?</p>	<p>Elaborar un modelo de inundación frente a crecidas del río Huallaga en el tramo del centro poblado de Juan Velasco Alvarado.</p>	<p>He: Los modelos de simulación de inundación son obtenidos a partir de información topográfica e hidrología identificada para la cuenca que forma el río Huallaga en el punto de aforo establecido al inicio del centro poblado Juan Velasco Alvarado.</p>	
<p>¿De qué manera las medidas de control no estructurales ayudan en la prevención del riesgo de inundación en el centro poblado de Juan Velasco Alvarado?</p>	<p>Plantear medidas de control no estructurales para la prevención del riesgo de inundación en el centro poblado de Juan Velasco Alvarado.</p>	<p>He: La implementación de medidas no estructurales evidencian una mejora dentro de la prevención y mitigación de daños frente a inundaciones en el cauce del río Huallaga.</p>	

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES
<p>Tipo de Investigación: Cuantitativo.</p> <p>Alcance de Investigación: Descriptivo.</p>	<p>Población: Para la investigación se establece como población al cauce del río Huallaga en la localidad de Ambo.</p>	<p>Variable Dependiente Llanura de inundación</p>
<p>Diseño: No Experimental.</p>	<p>Muestra: Para la investigación se establece como muestra "no probabilística" a un tramo de 800 m aguas abajo a la altura de la Capilla del Señor de los Milagros.</p>	<p>Variable Independiente Metodología geoespacial</p>

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE DESIGNACIÓN DE DOCENTE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 042-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 26 de enero de 2023

Visto, el Oficio N° 036-2023-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 388692-0000000525, de la Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPI**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

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

Que, según el Expediente N° 388692-0000000525, presentado por el (la) Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPI**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, como Asesor de Tesis, y;

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

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

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPI**, a la Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

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

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
BLCR/EJML/nto.

ANEXO 3

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (TESIS)

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1378-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 23 de junio de 2023

Visto, el Oficio N° 952-2023-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: "APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023", presentado por el (la) Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPÍ**.

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° 042-2023-D-FI-UDH, de fecha 26 de enero de 2023, perteneciente a la Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPÍ** se le designó como ASESOR(A) de Tesis a la Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 952-2023-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023", presentado por el (la) Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPÍ**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Martín Cesar Valdivieso Echevarría (Secretario) y Mg. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza (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: "APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LLANURAS INUNDABLES DEL RÍO HUALLAGA EN EL CENTRO POBLADO JUAN VELASCO ALVARADO, AMBO, HUÁNUCO 2023", presentado por el (la) Bach. **Nathaly Fabiola ZAVALA BERROSPÍ** 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



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nhs.

ANEXO 4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Figura 54

Ubicación de la zona de investigación



Tabla 35

Parámetros de altura

PARÁMETROS ALTITUDINALES							
LIMITES DE ALTURA	PROMEDIO	SUPERFICIE	SUOERFICIE ACUM.	SUPERFICIE SOBRE LA CURVA DE NIVEL	SUPERFICIE EN PORCENTAJE	PORCENT. DE SUPERFICIE SOBRE LA CURVA	
2080.0 0	2676.0 0	2378.00	121.26	121.26	3660.88	3.21	96.79
2676.0 0	3062.0 0	2869.00	247.63	368.89	3413.25	6.55	90.25
3062.0 0	3388.0 0	3225.00	320.93	689.81	3092.33	8.49	81.76
3388.0 0	3688.0 0	3538.00	363.28	1053.09	2729.05	9.61	72.16
3688.0 0	3956.0 0	3822.00	444.34	1497.43	1570.88	11.75	60.41
3956.0 0	4180.0 0	4068.00	713.82	2211.26	1570.88	18.87	41.53
4180.0 0	4381.0 0	4280.50	879.48	3090.73	691.41	23.25	18.28
4381.0 0	4653.0 0	4517.00	582.61	3673.34	108.80	15.40	2.88
4653.0 0	5691.0 0	5172.00	108.80	3782.14	0.00	2.88	0.00

Figura 55

Curva hipsométrica

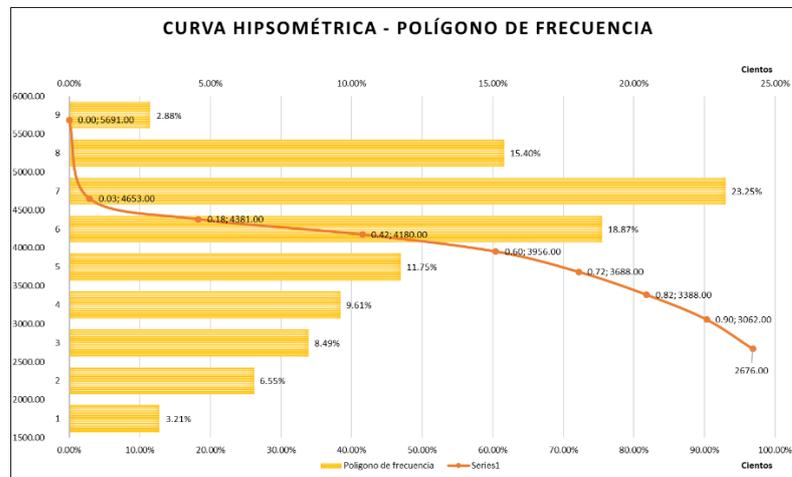


Tabla 36

Red hídrica

SISTEMA DE RED HÍDRICA					
ORDEN DE RED	REPETICIONES	LONGITUD	REP. POR PENDIENTE (A)	PENDIENTE (B)	(A)*(B)
1.00	72.00	349.96	30210.00	13.23	399715.67
2.00	13.00	163.56	13751.00	10.76	147992.26
3.00	2.00	165.35	13739.00	7.61	104576.46
4.00	1.00	0.01	1.00	1.00	1.00
LONGITUD TOTAL		678.87	57701.00		652285.39
PENDIENTE PROMEDIO				11.30	

Tabla 37

Pendiente

CARACTERÍSTICAS DE PENDIENTE				
RANGO DE PENDIENTES		PROM. (A)	REPETICIONES (B)	(A)*(B)
0 %	10 %	5.00	19899155.00	99495775.00
10 %	20 %	15.00	4082523.00	61237845.00
20 %	30 %	25.00	191424.00	4785600.00
30 %	40 %	35.00	26493.00	927255.00
40 %	50 %	45.00	4811.00	216495.00
50 %	60 %	55.00	1057.00	58135.00
60 %	70 %	65.00	236.00	15340.00
70 %	80 %	75.00	69.00	5175.00
80 %	90 %	85.00	35.00	2975.00
90 %	100 %	95.00	9.00	855.00
TOTAL			24205812.00	166745450.00
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA			6.89	

Tabla 38

Clasificación de suelos

CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
TIPO	ÁREA (km²)	PORCENTAJE
<i>Agricultura costera y andina</i>	319.024132	8.44%
<i>Área altoandina con escasa y sin vegetación</i>	119.447243	3.16%
<i>Área urbana</i>	3.761743	0.10%
<i>Bofedal</i>	99.205251	2.62%
<i>Bosque relicto altoandino</i>	3.25305	0.09%
<i>Bosque relicto mesoandino</i>	13.81216	0.37%
<i>Centro minero</i>	0.340943	0.01%
<i>Glaciar</i>	10.097962	0.27%
<i>Lagunas, lagos y cochas</i>	20.355642	0.54%
<i>Matorral arbustivo</i>	787.179556	20.81%
<i>Pajonal andino</i>	2392.80668	63.27%
<i>Plantación Forestal</i>	9.714806	0.26%
<i>Río</i>	3.146161	0.08%

Tabla 39

Tipo de suelo

TIPO DE SUELOS		
TIPO	ÁREA (km²)	PORCENTAJE
<i>Colinas y montañas</i>	1810.492874	47.87%
<i>Colinas y montañas, en menor proporción lomadas</i>	394.903517	10.44%
<i>Lomadas, colinas y montañas</i>	661.604079	17.49%
<i>Montañas de la cadena occidental de los andes</i>	915.14486	24.20%

Tabla 40

Coefficiente de Escorrentía

VALOR DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA					
ÁREA (ha)	TIPO DE COBERTURA	TEXTURA	PENDIENTE	ZONA	COEFICIENTE
31902.41	Terreno cultivado	Franco arenosa	10	Urbana	0.4
11944.72	Pradera	Franco Arcillolimoso	12	Urbana	0.4
376.17	Forestal	Franco arenosa	5	Urbana	0.1
9920.53	Forestal	Franco Arcillolimoso	8	Urbana	0.35
325.31	Terreno cultivado	Arcillosa	8	Urbana	0.7
1381.22	Forestal	Franco Arcillolimoso	9	Urbana	0.35
34.09	Pradera	Franco Limosa	7	Urbana	0.35
1009.80					0.3
2035.56					0.3
78717.96	Forestal	Franco Arcillolimoso	5	Urbana	0.3
239280.67	Pradera	Franco Limosa	6	Urbana	0.35
971.48	Forestal	Franco arenosa	10	Urbana	0.25
314.62					0.4
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA					0.34

Tabla 41

Número de curva

ESTIMACIÓN DE NÚMERO DE CURVA				
RANGO	PROMEDIO	ÁREA	VALOR PROMEDIO	
55	66	60.5	1257.18	
74	81	77.5	1895.15	73.25
81	90	85.5	603.27	
90	100	95	26.54	

Tabla 42

Tiempo de concentración

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN									
KIRPIC H	TEME Z	JOHN CROSS	GIANDOTT I	SCS RANCE R	V.T. CHOW	CUERP O ING. USA	HATHWA Y	EC. FED. AVIATIO N	EC. RETARD O SCS
7.83 hr	9.18 hr	10.25 hr	4.52 hr	14.90 hr	14.42 hr	20.56 hr	7.17 hr	7.50 hr	29.60 hr
12.00 hr									

Tabla 43

Estación Canchán

REGISTRO DE LLUVIA			
NOMBRE DE ESTACIÓN:	CANCHÁN	LONGITUD:	76°18'34.62"
		LATITUD:	9°55'15.43"
		ELEVACIÓN:	1986 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	15.06	20.63	9.41	19.30	4.81	0.30	4.46	1.57	7.86	6.20	6.00	19.80	9.62	0.30	20.63
1989	22.00	12.20	13.40	7.60	4.20	3.00	8.60	0.00	12.60	18.00	6.60	65.40	14.47	0.00	65.40
1990	18.10	7.50	9.20	12.50	13.00	7.50	0.20	2.00	5.50	14.50	15.00	7.80	9.40	0.20	18.10
1991	5.60	12.40	0.00	5.60	5.00	5.30	0.00	0.00	7.00	15.00	12.70	17.50	7.18	0.00	17.50
1992	8.70	12.00	12.10	7.50	3.00	2.60	0.17	21.00	3.30	6.00	25.15	10.48	9.33	0.17	25.15
1993	13.17	10.80	27.30	16.30	19.00	4.70	1.00	1.30	9.10	9.40	15.40	12.50	11.66	1.00	27.30
1994	14.00	15.80	11.63	18.00	11.60	1.30	0.70	0.23	20.61	13.30	13.20	21.90	11.86	0.23	21.90
1995	15.00	15.60	16.70	8.50	2.44	2.00	0.00	0.00	7.40	4.50	6.30	13.30	7.65	0.00	16.70
1996	8.60	8.50	13.40	17.70	7.70	0.80	1.00	1.50	4.80	10.40	10.20	11.20	7.98	0.80	17.70
1997	22.70	7.00	15.00	4.20	6.10	9.50	0.00	5.20	5.60	8.30	7.00	11.20	8.48	0.00	22.70
1998	16.80	15.20	24.80	2.90	3.30	1.20	0.00	0.50	5.40	6.50	22.20	14.00	9.40	0.00	24.80
1999	16.90	25.10	21.90	4.00	6.20	4.40	2.20	1.00	7.60	5.00	11.00	14.40	9.98	1.00	25.10
2000	12.80	12.50	11.60	6.20	3.60	6.80	4.40	12.10	8.30	15.10	7.00	28.10	10.71	3.60	28.10
2001	24.70	7.50	16.10	19.00	5.20	2.20	4.50	2.80	5.00	18.00	60.50	17.80	15.28	2.20	60.50
2002	13.30	12.30	29.60	20.10	5.80	1.00	9.60	4.10	4.50	21.30	8.70	14.40	12.06	1.00	29.60
2003	14.50	14.40	14.40	12.60	2.60	0.00	0.00	6.80	7.70	29.00	17.10	22.30	11.78	0.00	29.00
2004	7.30	19.40	33.20	9.70	17.40	5.00	4.00	4.60	10.00	12.80	6.20	18.20	12.32	4.00	33.20
2005	13.10	25.20	16.80	7.00	0.50	0.00	2.70	17.90	5.00	11.80	13.10	33.00	12.18	0.00	33.00
2006	31.60	17.10	19.50	9.00	4.50	4.80	1.00	1.40	6.30	26.80	19.50	15.40	13.08	1.00	31.60
2007	16.80	2.70	11.20	6.00	8.00	0.00	2.20	3.00	4.10	37.10	8.60	26.90	10.55	0.00	37.10
2008	28.10	20.30	10.90	14.20	3.90	1.10	1.60	1.60	18.40	9.50	24.50	29.60	13.64	1.10	29.60
2009	27.00	26.90	25.20	23.70	5.10	14.60	4.30	0.70	3.70	11.80	12.10	16.20	14.28	0.70	27.00
2010	4.10	16.70	28.60	17.90	6.00	0.00	2.40	3.60	12.50	14.50	19.00	11.40	11.39	0.00	28.60
2011	15.70	8.70	21.30	7.10	14.20	0.00	1.80	3.50	5.10	19.10	13.70	24.40	11.22	0.00	24.40
2012	17.50	18.10	15.40	13.20	3.00	1.50	4.20	3.10	2.40	16.80	20.60	23.70	11.63	1.50	23.70
2013	9.20	13.20	21.30	21.70	1.80	16.00	7.60	15.60	3.20	14.60	17.80	14.30	13.03	1.80	21.70
N° DE DATOS	26.00														
DESV. ESTANDAR	6.92	6.02	7.63	6.20	4.75	4.29	2.73	5.73	4.42	7.72	10.89	11.36			
COEF. VARIACIÓN	0.44	0.41	0.44	0.52	0.74	1.17	1.03	1.29	0.60	0.53	0.71	0.57			
PRECIP. PROM	15.86	14.53	17.31	11.98	6.46	3.68	2.64	4.43	7.42	14.43	15.35	19.81			
PRECIP. MÁX	31.60	26.90	33.20	23.70	19.00	16.00	9.60	21.00	20.61	37.10	60.50	65.40			
PRECIP. MÍN	4.10	2.70	0.00	2.90	0.50	0.00	0.00	0.00	2.40	4.50	6.00	7.80			

Tabla 44

Estación Huánuco

REGISTRO DE LLUVIA

NOMBRE DE ESTACIÓN:	HUÁNUCO	LONGITUD:	76°14'52.55"	LATITUD:	9°56'16.08"	ELEVACIÓN:	1947 msnm								
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	13.80	20.10	8.70	18.60	4.20	0.00	4.20	1.50	7.40	3.60	10.70	11.60	8.70	0.00	20.10
1989	15.70	8.00	11.90	6.50	6.30	3.40	0.00	1.40	5.70	20.60	11.10	27.40	9.83	0.00	27.40
1990	11.50	6.10	15.10	20.10	13.00	4.70	1.30	4.50	2.80	21.30	18.00	12.00	10.87	1.30	21.30
1991	4.70	15.00	28.80	8.30	2.00	5.00	4.80	0.00	2.20	11.40	15.00	20.40	9.80	0.00	28.80
1992	8.50	29.60	15.60	5.40	0.00	3.60	0.00	25.00	2.00	38.40	24.90	9.80	13.57	0.00	38.40
1993	12.50	18.00	13.70	13.50	6.20	4.70	3.40	3.70	6.00	7.60	16.40	12.30	9.83	3.40	18.00
1994	15.46	8.70	10.90	24.00	15.00	0.00	0.00	0.00	20.50	19.00	7.20	20.60	11.78	0.00	24.00
1995	8.00	18.90	17.50	8.90	1.80	0.70	1.20	0.40	3.00	8.90	13.90	12.30	7.96	0.40	18.90
1996	13.50	9.10	15.90	17.10	10.40	0.01	0.10	3.50	1.40	9.30	15.10	8.10	8.63	0.01	17.10
1997	10.50	6.60	11.40	10.60	4.20	1.90	0.00	4.10	5.30	8.30	11.20	7.80	6.83	0.00	11.40
1998	17.90	16.50	27.50	1.00	2.70	1.80	0.00	1.50	3.20	13.40	26.00	7.20	9.89	0.00	27.50
1999	13.10	28.00	15.20	5.40	9.20	8.10	4.70	0.60	33.00	5.60	10.70	13.70	12.28	0.60	33.00
2000	10.80	14.20	14.60	7.70	5.30	7.30	2.40	12.10	4.00	2.80	20.30	19.30	10.07	2.40	20.30
2001	11.30	8.90	10.60	25.70	7.40	0.80	3.20	5.00	2.00	10.00	48.70	10.80	12.03	0.80	48.70
2002	13.00	19.40	14.90	27.20	9.70	2.10	5.20	1.30	2.80	22.90	7.80	5.20	10.96	1.30	27.20
2003	12.30	6.40	9.40	14.90	3.00	0.10	0.10	6.90	4.40	12.50	23.00	18.10	9.26	0.10	23.00
2004	7.60	8.10	11.90	10.50	11.70	1.40	2.10	4.60	11.30	6.40	13.00	17.60	8.85	1.40	17.60

2005	5.90	16.60	25.50	2.40	0.60	0.01	0.80	7.50	3.50	11.00	8.70	20.10	8.55	0.01	25.50
2006	28.00	11.30	18.90	8.30	1.90	3.60	1.60	2.00	7.20	18.90	21.70	18.20	11.80	1.60	28.00
2007	8.70	2.40	12.30	7.50	5.30	1.20	3.30	2.90	2.30	25.80	13.70	27.30	9.39	1.20	27.30
2008	7.90	12.50	16.60	15.80	2.70	1.80	0.10	0.70	14.20	11.70	33.10	30.60	12.31	0.10	33.10
2009	19.60	10.00	19.40	10.60	7.30	9.00	4.00	3.40	2.30	16.80	8.50	9.10	10.00	2.30	19.60
2010	4.90	17.40	22.60	6.80	2.40	1.20	3.80	5.00	9.60	12.00	21.80	19.90	10.62	1.20	22.60
2011	13.60	11.60	35.40	8.00	9.50	1.80	0.90	1.50	11.40	20.40	19.30	36.20	14.13	0.90	36.20
2012	16.30	12.30	11.60	16.30	5.70	1.90	4.70	2.50	2.60	16.20	29.60	30.70	12.53	1.90	30.70
2013	7.90	13.80	14.70	13.60	1.90	4.70	5.50	14.10	2.40	13.40	11.10	19.90	10.25	1.90	19.90
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00		
DESV. ESTANDAR	5.06	6.50	6.55	6.93	4.02	2.55	1.96	5.42	7.04	7.85	9.38	8.19			
COEF. VARIACIÓN	0.42	0.48	0.40	0.57	0.70	0.94	0.89	1.22	1.06	0.55	0.53	0.48			
PRECIP. PROM	12.04	13.44	16.56	12.10	5.75	2.72	2.21	4.45	6.63	14.16	17.71	17.16			
PRECIP. MÁX	28.00	29.60	35.40	27.20	15.00	9.00	5.50	25.00	33.00	38.40	48.70	36.20			
PRECIP. MÍN	4.70	2.40	8.70	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	2.80	7.20	5.20			

Tabla 45

Estación San Rafael

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	SAN RAFAEL			LONGITUD:	76°10'35.70"			LATITUD:	10°19'45.03"			ELEVACIÓN:	2699 msnm		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	42.70	24.50	16.00	14.50	1.60	0.00	0.00	2.56	14.28	9.28	18.52	13.59	13.13	0.00	42.70
1989	17.35	16.68	15.45	11.29	5.80	7.96	2.71	9.93	13.72	17.38	38.47	22.35	14.92	2.71	38.47
1990	16.60	13.00	18.00	90.00	0.00	0.00	4.10	0.00	1.50	10.70	6.80	5.00	13.81	0.00	90.00
1991	14.00	12.00	13.00	11.27	5.65	4.94	4.45	4.21	9.03	14.26	20.04	18.58	10.95	4.21	20.04
1992	13.03	25.77	15.05	10.61	6.84	5.98	2.58	18.14	7.71	6.40	8.00	7.00	10.59	2.58	25.77
1993	8.00	10.00	12.20	7.00	2.00	1.00	3.50	4.20	11.13	17.05	19.47	40.00	11.30	1.00	40.00
1994	23.20	38.50	20.10	12.80	5.40	0.80	0.00	2.10	11.00	15.80	9.40	31.20	14.19	0.00	38.50
1995	25.50	30.00	36.80	16.00	18.50	13.00	1.50	3.50	18.00	22.00	26.30	31.70	20.23	1.50	36.80
1996	18.00	17.40	22.80	22.20	8.00	6.00	0.90	3.70	21.10	3.50	19.50	16.00	13.26	0.90	22.80
1997	13.00	18.60	10.20	12.20	4.50	0.00	0.00	7.00	8.70	22.40	14.30	56.70	13.97	0.00	56.70
1998	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	14.46	0.00	29.40
1999	17.30	21.00	21.60	9.00	7.90	9.70	2.40	12.80	14.30	6.60	19.20	14.70	13.04	2.40	21.60
2000	15.90	19.80	20.70	12.80	2.90	14.50	3.50	12.30	12.20	9.40	5.90	25.10	12.92	2.90	25.10
2001	24.40	18.80	17.60	16.00	5.10	5.60	5.30	7.90	9.20	16.20	41.80	26.10	16.17	5.10	41.80
2002	10.20	16.00	20.20	9.60	11.40	2.70	17.60	0.70	7.00	29.90	12.00	25.00	13.53	0.70	29.90
2003	7.50	8.60	15.20	52.90	1.90	7.20	0.00	22.80	9.40	6.70	27.30	18.60	14.84	0.00	52.90
2004	29.60	16.30	20.20	10.80	15.00	8.00	3.00	4.30	27.40	22.80	24.10	18.92	16.70	3.00	29.60
2005	9.90	32.00	25.90	4.26	1.30	0.00	1.90	9.30	10.60	13.00	16.10	10.10	11.20	0.00	32.00
2006	13.90	13.70	12.70	9.00	0.60	5.30	5.60	5.80	16.30	16.50	28.80	15.70	11.99	0.60	28.80
2007	22.50	11.10	25.80	6.80	6.80	0.70	31.90	3.50	12.00	17.10	12.00	22.60	14.40	0.70	31.90
2008	17.00	28.20	8.60	6.10	6.30	6.10	1.20	1.80	42.10	15.30	24.50	17.60	14.57	1.20	42.10
2009	16.10	17.60	25.50	14.70	14.70	3.60	7.10	4.90	9.30	12.70	16.30	22.90	13.78	3.60	25.50
2010	25.10	19.80	20.90	20.80	17.50	4.40	7.70	5.40	3.90	11.80	9.00	23.00	14.11	3.90	25.10
2011	16.40	18.20	10.40	21.80	14.40	0.80	1.40	4.50	10.30	20.10	12.20	16.10	12.22	0.80	21.80
2012	13.20	19.50	15.30	24.30	5.00	6.10	1.70	6.40	1.90	14.80	21.30	33.50	13.58	1.70	33.50
2013	15.60	24.80	15.90	12.20	4.70	9.90	10.80	11.18	9.10	24.60	27.00	41.10	17.24	4.70	41.10
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00		
DESV. ESTANDAR	7.82	7.24	6.16	17.59	5.26	4.06	6.80	5.30	8.26	6.30	9.08	11.25			
COEF. VARIACIÓN	0.43	0.36	0.33	1.03	0.77	0.80	1.46	0.79	0.68	0.41	0.47	0.49			
PRECIP. PROM	18.28	19.98	18.41	17.16	6.85	5.08	4.65	6.69	12.21	15.23	19.13	22.99			
PRECIP. MÁX	42.70	38.50	36.80	90.00	18.50	14.50	31.90	22.80	42.10	29.90	41.80	56.70			
PRECIP. MÍN	7.50	8.60	8.60	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	3.50	5.90	5.00			

Tabla 46

Estación Tingo María

REGISTRO DE LLUVIA															
NOBRE DE ESTACIÓN:	TINGO MARÍA			LONGITU D:	76°00'1.80"			LATITU D:	9°18'36.6"			ELEVACIÓ N:	657 msnm		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PRECIP. PROM	PRECIP. MÍN	PRECIP. MÁX
1988	79.00	56.60	42.20	89.00	53.00	20.60	31.80	3.70	60.80	66.70	64.00	44.00	50.95	3.70	89.00
1989	58.40	94.40	85.00	84.80	18.70	35.00	36.80	52.00	43.00	58.20	67.00	34.00	55.61	18.70	94.40
1990	76.70	67.00	41.20	33.00	70.00	47.20	60.00	36.50	30.20	60.50	52.50	86.30	55.09	30.20	86.30
1991	98.40	21.30	58.40	67.80	32.40	33.20	27.90	16.50	20.50	42.70	68.80	72.50	46.70	16.50	98.40
1992	49.60	79.30	55.20	90.00	77.70	56.80	20.00	58.00	56.20	85.00	98.30	98.00	68.68	20.00	98.30
1993	104.00	25.00	27.50	62.00	43.40	36.30	48.30	40.50	55.90	90.50	80.70	97.40	59.29	25.00	104.00
1994	133.00	84.80	46.50	94.30	71.30	34.30	67.40	21.90	58.10	82.30	45.70	149.20	74.07	21.90	149.20
1995	82.30	98.40	83.70	36.20	36.30	45.30	44.20	16.90	44.50	75.30	51.30	70.70	57.09	16.90	98.40
1996	68.70	75.30	32.20	76.00	63.90	50.00	21.00	30.00	54.50	53.00	78.00	44.60	53.93	21.00	78.00
1997	55.00	39.70	60.40	51.00	50.00	33.70	51.30	23.70	76.20	33.60	68.00	99.80	53.53	23.70	99.80
1998	52.50	87.00	74.50	63.30	156.00	83.00	16.40	27.50	36.90	97.10	72.20	54.80	68.43	16.40	156.00
1999	57.10	78.30	82.60	66.30	116.50	52.20	48.00	22.30	22.70	26.10	71.80	94.00	61.49	22.30	116.50
2000	88.50	64.50	54.60	24.10	20.90	60.90	85.60	20.50	32.80	53.40	51.70	65.40	51.91	20.50	88.50
2001	95.90	45.80	71.80	38.70	67.70	28.30	43.30	7.40	88.30	35.50	79.00	43.90	53.80	7.40	95.90
2002	72.20	78.80	123.10	72.70	64.70	46.90	40.70	28.90	61.30	46.00	65.20	60.40	63.41	28.90	123.10
2003	33.80	106.00	51.70	54.60	149.70	94.60	23.50	57.10	58.40	111.20	86.00	103.30	77.49	23.50	149.70
2004	64.10	67.80	80.00	50.00	38.10	13.80	79.60	27.50	33.40	48.50	68.20	46.10	51.43	13.80	80.00
2005	48.80	92.60	94.70	23.30	37.50	43.70	37.50	25.70	54.30	58.70	66.80	97.50	56.76	23.30	97.50
2006	54.80	108.00	53.00	80.50	41.90	20.50	42.00	30.60	68.10	68.90	96.00	64.50	60.73	20.50	108.00
2007	70.50	35.00	69.80	51.50	35.80	4.90	35.50	29.10	27.80	48.30	61.80	60.90	44.24	4.90	70.50
2008	69.50	88.60	65.50	31.70	34.90	26.50	35.00	14.50	24.60	95.80	28.80	32.90	45.69	14.50	95.80
2009	78.20	53.00	48.50	55.50	65.60	27.40	35.50	34.80	36.53	34.40	41.80	56.70	47.33	27.40	78.20
2010	46.00	64.40	69.90	30.30	23.70	26.90	55.70	22.00	45.30	51.40	68.40	66.30	47.53	22.00	69.90
2011	105.00	66.30	85.30	64.00	44.00	37.60	21.70	26.00	79.60	47.20	60.50	38.80	56.33	21.70	105.00
2012	58.90	51.50	103.70	52.20	43.00	33.70	9.60	15.80	28.80	55.10	48.50	61.60	46.87	9.60	103.70
2013	98.00	104.50	65.30	115.00	32.40	59.70	18.80	37.80	121.00	69.20	44.20	53.00	68.24	18.80	121.00
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00			
DESV. ESTÁNDAR	22.84	24.48	22.23	23.63	35.25	19.85	18.90	13.41	23.23	21.87	16.43	27.29			
COEF. VARIACIÓN	0.31	0.35	0.33	0.39	0.62	0.49	0.47	0.48	0.46	0.36	0.25	0.39			
PRECIP. PROM	73.03	70.53	66.40	59.92	57.27	40.50	39.80	27.97	50.76	61.33	64.82	69.10			
PRECIP. MÁX	133.00	108.00	123.10	115.00	156.00	94.60	85.60	58.00	121.00	111.20	98.30	149.20			
PRECIP. MÍN	33.80	21.30	27.50	23.30	18.70	4.90	9.60	3.70	20.50	26.10	28.80	32.90			

Tabla 47

Estación Tulumayo

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	TULUMAYO			LONGITUD :	76°00'33.97"			LATITUD :	9°8'49.4"			ELEVACIÓN :	612 msnm		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	34.00	43.50	57.30	54.40	50.00	23.00	25.00	10.60	58.79	62.23	59.98	41.95	43.40	10.60	62.23
1989	55.54	88.30	79.77	79.18	17.73	32.70	34.45	48.29	40.55	55.39	62.80	34.89	52.47	17.73	88.30
1990	71.27	61.80	38.74	32.79	64.75	43.47	54.83	33.51	27.86	56.62	49.16	79.48	51.19	27.86	79.48
1991	90.33	20.60	54.50	63.40	30.31	31.17	26.06	15.31	19.35	40.57	64.83	68.63	43.75	15.31	90.33
1992	46.64	75.07	52.21	83.96	72.19	52.92	19.25	55.47	52.33	80.46	92.10	91.27	64.49	19.25	92.10
1993	98.91	23.99	26.74	57.71	40.50	33.45	44.26	37.18	51.51	83.13	74.72	90.38	55.21	23.99	98.91
1994	53.50	52.00	53.50	72.00	66.05	31.34	61.48	20.74	55.87	76.46	42.56	137.32	60.24	20.74	137.32
1995	76.30	91.47	78.17	33.90	34.71	41.62	40.37	15.48	41.25	69.52	47.95	65.92	53.05	15.48	91.47
1996	63.74	36.00	28.30	102.90	95.70	43.60	4.20	19.20	25.20	55.20	65.30	71.10	50.87	4.20	102.90

1997	48.40	58.40	62.40	136.00	31.00	40.5 0	21.60	43.80	51.2 0	49.2 0	110.5 0	45.20	58.18	21.60	136.00
1998	63.70	109.0 0	82.00	67.20	113.3 0	35.8 0	23.20	60.80	37.0 0	65.7 0	27.20	65.60	62.54	23.20	113.30
1999	113.8 0	60.60	74.40	17.30	67.70	26.3 0	43.60	12.80	24.0 0	34.0 0	53.50	23.80	45.98	12.80	113.80
2000	47.40	57.80	63.20	34.00	40.90	49.5 0	26.10	96.60	21.2 0	35.4 0	28.30	58.10	46.54	21.20	96.60
2001	67.80	42.40	34.60	28.40	62.00	42.8 0	41.00	18.50	34.4 0	34.1 0	65.40	90.70	46.84	18.50	90.70
2002	56.30	103.5 0	50.50	43.30	58.00	31.3 0	72.50	35.00	12.0 0	40.3 0	79.00	56.20	53.16	12.00	103.50
2003	41.80	72.30	60.50	126.00	72.00	36.2 0	23.00	68.20	66.0 0	44.0 0	93.00	74.50	64.79	23.00	126.00
2004	70.80	31.30	60.00	40.20	32.30	21.3 0	102.4 0	22.70	22.1 0	32.2 0	50.20	45.70	44.27	21.30	102.40
2005	52.60	142.0 0	65.10	24.80	13.10	62.5 0	5.50	27.70	54.7 0	72.7 0	41.60	87.70	54.17	5.50	142.00
2006	46.40	118.6 0	40.80	38.00	38.00	51.4 0	30.40	60.00	35.5 0	55.3 0	63.20	62.30	53.33	30.40	118.60
2007	60.00	34.70	45.20	40.80	65.00	20.4 0	35.20	21.60	19.1 0	76.8 0	56.00	67.00	45.15	19.10	76.80
2008	34.80	43.40	45.50	68.30	37.80	36.4 0	61.00	22.80	47.9 0	57.4 0	26.20	43.00	43.71	22.80	68.30
2009	62.00	97.60	40.80	56.70	67.00	33.0 0	27.80	32.70	41.1 0	35.5 0	50.70	66.30	50.93	27.80	97.60
2010	36.30	70.90	108.5 0	56.70	26.30	11.3 0	40.30	14.40	12.5 0	39.6 0	78.60	43.60	44.92	11.30	108.50
2011	54.10	84.00	28.20	38.40	29.30	18.1 0	54.60	16.70	89.0 0	52.0 0	22.50	50.00	44.74	16.70	89.00
2012	80.00	73.00	69.00	43.00	52.60	54.6 0	13.80	31.10	36.4 0	22.7 0	61.80	52.70	49.23	13.80	80.00
2013	83.70	96.67	61.09	106.33	29.76	55.3 4	17.91	36.14	67.8 0	70.0 0	56.40	45.50	60.55	17.91	106.33
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.0 0	26.00	26.00	26.0 0	26.0 0	26.00	26.00			
DES. ESTAND. COEF. VARIACIÓN	19.82	31.02	19.11	30.87	23.79	12.7 5	21.82	20.71	18.8 9	17.0 7	21.38	23.49			
PRECIP. PROM	61.93	68.80	56.19	59.45	50.31	36.9 2	36.53	33.74	40.1 8	53.7 1	58.60	63.80			
PRECIP. MÁX	113.8 0	142.0 0	108.5 0	136.00	113.3 0	62.5 0	102.4 0	96.60	89.0 0	83.1 3	110.5 0	137.32			
PRECIP. MÍN	34.00	20.60	26.74	17.30	13.10	11.3 0	4.20	10.60	12.0 0	22.7 0	22.50	23.80			

Tabla 48

Estación Pisco

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	SISTEMA PISCO			LONGITUD :	76°21'16.2"			LATITUD :	10°25'18.6"			ELEVACIÓN :			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	128.0 0	64.48 4	133.0 4	73.31	8.16	1.52	0.63	5.53	7.02	16.8 2	36.9 8	107.90	48.62	0.63	133.04
1989	125.9 6	132.5 4	199.6 4	29.84	8.50	16.0 3	11.0 0	9.71	12.7 0	56.0 3	24.0 4	25.78	54.31	8.50	199.64
1990	105.7 9	70.11	89.57	20.23	4.25	10.9 9	7.97	2.92	3.65	89.7 7	63.2 8	76.32	45.40	2.92	105.79
1991	79.97	107.8 3	197.9 9	30.72	12.5 5	2.47	8.15	1.51	11.5 2	60.2 4	41.6 0	57.52	51.01	1.51	197.99
1992	37.86	52.98	113.2 5	37.06	4.92	7.98	6.91	8.24	10.3 0	67.8 7	32.7 5	49.05	35.76	4.92	113.25
1993	88.07	104.1 8	160.1 6	60.70	8.75	1.28	12.1 7	9.38	23.5 6	85.6 1	94.1 1	165.37	67.78	1.28	165.37
1994	116.2 2	165.0 2	156.6 8	62.76	14.4 0	5.30	3.57	5.36	18.4 4	41.0 6	55.9 3	104.31	62.34	3.57	165.02
1995	88.14	97.05	147.7 1	58.62	12.0 3	16.2 3	5.47	9.80	22.2 9	68.9 3	56.4 1	114.14	58.07	5.47	147.71
1996	102.4 0	153.0 8	182.8 2	65.31	9.62	6.88	2.11	14.98	19.5 7	39.3 1	39.1 3	72.85	59.01	2.11	182.82
1997	94.86	114.9 9	68.88	25.66	6.42	1.68	2.16	18.02	15.1 2	48.9 3	59.7 3	163.02	51.62	1.68	163.02
1998	132.6 8	159.0 5	156.7 7	38.73	4.72	12.3 0	0.40	5.91	11.6 9	81.4 0	57.0 0	86.06	62.23	0.40	159.05
1999	110.4 8	175.6 7	161.9 5	36.33	17.1 5	16.7 8	7.50	8.49	39.8 0	46.0 6	60.5 9	100.92	65.14	7.50	175.67
2000	119.8 4	136.8 6	182.0 1	45.65	14.4 6	11.1 2	8.68	28.92	13.6 5	59.6 6	34.6 4	145.78	66.77	8.68	182.01
2001	147.9 0	120.4 2	210.9 1	48.20	13.3 9	8.39 2	24.7 2	10.94	18.4 8	62.3 6	76.9 8	110.41	71.09	8.39	210.91
2002	33.63	116.1 3	156.6 5	48.22	15.3 2	4.97	29.2 9	8.33	19.1 2	88.0 0	53.7 9	113.51	57.25	4.97	156.65
2003	88.53	96.30	165.0 8	64.16	12.8 8	10.1 0	1.16	19.80	13.9 6	29.1 0	53.4 9	130.57	57.09	1.16	165.08
2004	42.16	104.5 5	93.41	30.22	10.6 5	21.2 7	12.6 0	14.05	27.6 3	79.4 5	64.0 6	134.14	52.85	10.65	134.14
2005	56.99	115.1 2	171.4 2	32.89	6.02	1.11	8.81	14.74	17.2 9	60.4 4	53.2 9	87.90	52.17	1.11	171.42
2006	103.9 8	103.3 1	163.4 1	55.33	3.32	17.9 5	3.10	12.46	19.6 0	80.2 7	70.6 1	118.83	62.68	3.10	163.41
2007	86.76	54.58	234.9 7	52.41	8.11	0.84	19.6 8	7.69	8.96 0	75.7 0	53.6 0	90.07	57.78	0.84	234.97
2008	104.1 7	121.6 5	79.62	32.11	8.26	16.1 4	1.47	8.90	17.1 6	77.2 5	35.6 9	79.74	48.51	1.47	121.65
2009	110.2 3	130.5 1	209.5 4	63.29	9.81	12.5 1	19.1 3	24.07	11.7 0	39.0 1	82.2 9	125.55	69.80	9.81	209.54
2010	110.5 2	119.6 4	155.1 4	51.34	5.96	5.08	3.39	1.24	8.69 6	59.9 4	53.1 4	132.96	58.92	1.24	155.14
2011	156.5 1	136.4 0	190.3 5	61.81	7.62	0.77	8.54	6.05	13.1 3	60.2 2	49.4 1	178.57	72.45	0.77	190.35
2012	86.71	169.5 9	95.91	96.00	7.04	23.8 5	8.18	3.22	16.3 2	60.9 0	74.5 0	157.61	66.65	3.22	169.59
2013	145.7 2	146.4 6	196.9 2	42.37	12.4 7	18.9 9	11.2 2	23.01	13.7 2	94.9 7	61.0 2	100.75	72.30	11.29	196.92
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.0 0	26.0 0	26.0 0	26.00	26.0 0	26.0 0	26.0 0	26.00			

DESV. ESTANDAR	32.13	33.49	43.93	17.40	3.76	7.05	7.43	7.13	7.24	19.68	16.33	37.22
COEF. VARIACIÓN	0.32	0.28	0.28	0.36	0.40	0.73	0.85	0.65	0.45	0.31	0.30	0.34
PRECIP. PROM	100.15	118.02	156.65	48.59	9.49	9.71	8.77	10.90	15.96	62.67	55.37	108.83
PRECIP. MÁX	156.51	175.67	234.97	96.00	17.15	23.85	29.29	28.92	39.80	94.97	94.11	178.57
PRECIP. MÍN	33.63	52.98	68.88	20.23	3.32	0.77	0.40	1.24	3.65	16.82	24.04	25.78

Tabla 49

Estación promedio

REGISTRO DE LLUVIA															
NOMBRE DE ESTACIÓN:	CENTROIDE DE CUENCA			LONGITUD : 76°21'16.2"				LATITUD : 10°25'18.6"			ELEVACIÓN :				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP PROM	PP MÍN	PP MÁX
1988	37.42	25.10	15.98	18.30	4.36	0.91	2.21	2.54	14.81	10.64	18.22	15.58	13.84	0.91	37.42
1989	19.69	18.46	17.81	13.36	6.30	8.02	4.48	9.52	14.03	19.83	33.18	24.58	15.77	4.48	33.18
1990	18.84	13.85	17.87	18.61	5.89	3.32	5.53	2.21	3.29	14.64	11.10	9.46	10.39	2.21	18.84
1991	15.40	13.05	15.43	12.67	6.29	6.20	4.96	3.75	8.58	15.42	20.87	21.19	11.99	3.75	21.19
1992	13.66	27.24	16.66	12.91	8.43	7.39	2.71	21.30	8.52	13.53	15.86	11.46	13.31	2.71	27.24
1993	13.13	11.90	15.08	11.22	6.23	3.29	4.99	5.28	12.22	18.16	21.39	36.34	13.27	3.29	36.34
1994	24.67	34.23	19.58	17.98	10.01	2.07	2.69	2.44	15.43	18.82	11.20	34.00	16.09	2.07	34.23
1995	24.82	30.19	34.60	15.35	15.60	11.68	2.96	3.29	16.28	20.80	23.89	29.28	19.06	2.96	34.60
1996	18.66	17.33	21.64	24.16	11.25	6.42	1.34	4.36	18.00	7.15	20.40	16.42	13.93	1.34	24.16
1997	15.72	17.31	13.21	14.37	6.25	2.85	1.54	7.61	10.37	20.19	16.26	47.21	14.41	1.54	47.21
1998	28.25	28.05	26.12	8.40	9.49	8.63	0.78	5.70	7.11	20.40	22.02	23.13	15.67	0.78	28.25
1999	19.72	24.82	23.64	9.59	11.54	10.33	4.47	10.37	16.49	7.35	19.38	16.82	14.54	4.47	24.82
2000	17.45	20.35	20.83	12.29	4.42	14.67	5.80	14.20	11.61	10.93	9.37	26.80	14.06	4.42	26.80
2001	25.74	17.66	18.47	18.65	7.92	5.89	6.55	7.28	10.24	16.70	45.30	25.33	17.15	5.89	45.30
2002	13.36	19.29	23.99	15.28	12.79	3.98	16.99	2.44	7.65	29.22	13.73	23.18	15.16	2.44	29.22
2003	10.30	12.54	16.35	45.86	6.73	8.10	0.95	20.99	10.89	13.27	28.63	22.30	16.41	0.95	45.86
2004	26.36	17.45	23.24	12.28	16.04	7.37	6.55	5.32	23.97	20.82	22.57	20.18	16.85	5.32	26.36
2005	11.64	33.30	27.58	5.25	2.17	2.09	2.77	11.02	11.05	14.98	16.78	17.66	13.02	2.09	33.30
2006	19.59	18.09	15.98	11.24	2.83	6.30	5.93	6.44	15.84	20.28	29.57	18.25	14.20	2.83	29.57
2007	22.36	10.22	24.29	8.55	8.59	1.13	25.64	4.34	10.60	22.73	13.97	25.85	14.86	1.13	25.85
2008	19.09	27.57	11.99	10.09	6.91	6.10	2.95	2.34	36.45	17.06	26.24	21.84	15.72	2.34	36.45
2009	20.42	20.38	26.07	17.27	15.03	6.73	7.54	5.48	9.14	14.28	16.38	22.43	15.10	5.48	26.07
2010	21.30	21.48	25.16	20.03	14.93	4.20	8.41	5.79	6.81	13.80	14.56	23.08	14.96	4.20	25.16
2011	19.00	18.89	17.04	20.06	15.02	1.98	2.81	4.81	12.99	21.64	14.80	21.06	14.18	1.98	21.64
2012	16.61	20.54	18.14	23.48	6.65	6.64	2.80	6.31	3.30	16.60	24.05	33.70	14.90	2.80	33.70
2013	17.28	25.66	18.67	17.77	5.18	12.14	10.31	13.37	11.32	24.37	25.44	36.52	18.17	5.18	36.52
N° DE DATOS	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00		
DESV. ESTANDAR	5.86	6.50	5.18	7.70	4.12	3.53	5.35	5.24	6.66	5.12	7.86	8.36			
COEF. VARIACIÓN	0.30	0.31	0.26	0.48	0.47	0.58	0.96	0.72	0.53	0.30	0.38	0.35			
PRECIP. PROM	19.63	20.96	20.21	15.96	8.73	6.09	5.56	7.25	12.58	17.06	20.58	23.99			
PRECIP. MÁX	37.42	34.23	34.60	45.86	16.04	14.67	25.64	21.30	36.45	29.22	45.30	47.21			
PRECIP. MÍN	10.30	10.22	11.99	5.25	2.17	0.91	0.78	2.21	3.29	7.15	9.37	9.46			

Tabla 50

Precipitación consolidada

LLUVIAS MPAXIMAS REGISTRADAS POR ESTACIÓN							
AÑO	PM (24hrs) - CANCHÁN	PM (24hrs) - HUÁNUCO	PM (24hrs) - SAN RAFAEL	PM (24hrs) - TINGO MARÍA	PM (24hrs) - TULUMAYO	PM (24hrs) - SIST. PISCO	PM (24hrs) - CENTROIDE

1988	20.63	20.10	42.70	89.00	62.23	133.04	37.42
1989	27.46	27.40	38.47	94.40	88.30	199.64	33.18
1990	18.10	21.30	18.01	86.30	79.48	105.79	18.84
1991	17.50	28.80	20.04	98.40	90.33	197.99	21.19
1992	25.15	38.40	25.77	98.30	92.10	113.25	27.24
1993	27.30	18.00	40.00	104.00	98.91	165.37	36.34
1994	21.90	24.00	38.50	149.20	137.32	165.02	34.23
1995	16.70	18.90	36.80	98.40	91.47	147.71	34.60
1996	17.70	17.10	22.80	78.00	102.90	182.82	24.16
1997	22.70	11.40	56.70	99.80	136.00	163.02	47.21
1998	24.80	27.50	29.40	156.00	113.30	159.05	28.25
1999	25.10	33.00	21.60	116.50	113.80	175.67	24.82
2000	28.10	20.30	25.10	88.50	96.60	182.01	26.80
2001	45.50	48.70	41.80	95.90	90.70	210.91	45.30
2002	29.60	27.20	29.90	123.10	103.50	156.65	29.22
2003	29.00	23.00	52.90	149.70	126.00	165.08	45.86
2004	33.20	17.60	29.60	80.00	102.40	134.14	26.36
2005	33.00	25.50	32.00	97.50	142.00	171.42	33.30
2006	31.60	28.00	28.80	108.00	118.60	163.41	29.57
2007	37.10	27.30	31.90	70.50	76.80	234.97	25.85
2008	29.60	33.10	42.10	95.80	68.30	121.65	36.45
2009	27.00	19.60	25.50	78.20	97.60	209.54	26.07
2010	28.60	22.60	25.10	69.90	108.50	155.14	25.16
2011	24.40	36.20	21.80	105.00	89.00	190.35	21.64
2012	23.70	30.70	33.50	103.70	80.00	169.59	33.70
2013	21.70	19.90	41.10	121.00	106.33	196.92	36.52

Tabla 51

Análisis de doble masa

AÑO	DOBLE MASA													
	PM (24hrs) - CANCHÁN		PM (24hrs) - HUÁNUCO		PM (24hrs) - SAN RAFAEL		PM (24hrs) - TINGO MARÍA		PM (24hrs) - TULUMAYO		PM (24hrs) - SIST. PISCO		PM (24hrs) - CENTROIDE	
	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA	PP	PP ACUMULADA
1988	20.6		20.1		42.7		89.00		89.00	62.23		133.0		37.4
1988	3	20.63	0	20.10	0	42.70	89.00	89.00	62.23	62.23	4	133.04	2	37.42
1989	3	27.4	0	27.4	0	38.4	81.17	94.40	183.40	88.30	4	332.68	8	70.60
1989	6	48.08	0	47.50	7	81.17	94.40	183.40	88.30	150.53	4	438.47	4	89.44
1989	0	18.1	0	21.3	1	99.18	86.30	269.70	79.48	230.02	9	636.46	9	110.63
1989	0	17.5	0	28.8	4	119.22	98.40	368.10	90.33	320.35	9	636.46	9	110.63
1989	1	0	0	97.60	4	119.22	98.40	368.10	90.33	320.35	9	636.46	9	110.63
1989	2	25.1	0	38.4	7	144.99	98.30	466.40	92.10	412.45	5	749.71	4	137.87
1989	2	5	0	136.00	7	144.99	98.30	466.40	92.10	412.45	5	749.71	4	137.87
1989	3	27.3	0	18.0	0	184.99	104.0	570.40	98.91	511.36	7	915.08	4	174.21
1989	3	0	0	154.00	0	184.99	104.0	570.40	98.91	511.36	7	915.08	4	174.21
1989	4	21.9	0	24.0	0	223.49	149.2	719.60	137.3	648.68	2	1080.10	3	208.44
1989	4	0	0	178.00	0	223.49	149.2	719.60	137.3	648.68	2	1080.10	3	208.44
1989	5	16.7	0	18.9	0	260.29	98.40	818.00	91.47	740.14	1	1227.81	0	243.04
1989	5	0	0	196.90	0	260.29	98.40	818.00	91.47	740.14	1	1227.81	0	243.04
1989	6	17.7	0	17.1	0	283.09	78.00	896.00	102.9	843.04	0	1410.63	6	267.21
1989	6	0	0	214.00	0	283.09	78.00	896.00	102.9	843.04	0	1410.63	6	267.21
1989	7	22.7	0	11.4	0	339.79	99.80	995.80	136.0	979.04	2	1573.65	1	314.42
1989	7	0	0	225.40	0	339.79	99.80	995.80	136.0	979.04	2	1573.65	1	314.42
1989	8	24.8	0	27.5	0	369.19	156.0	1151.80	113.3	1092.34	0	1732.70	5	342.66
1989	8	0	0	252.90	0	369.19	156.0	1151.80	113.3	1092.34	0	1732.70	5	342.66
1989	9	25.1	0	33.0	0	390.79	116.5	1268.30	113.8	1206.14	7	1908.37	2	367.49
1989	9	0	0	285.90	0	390.79	116.5	1268.30	113.8	1206.14	7	1908.37	2	367.49
2000	0	28.1	0	20.3	0	415.89	88.50	1356.80	96.60	1302.74	1	2090.38	0	394.29
2000	0	0	0	306.20	0	415.89	88.50	1356.80	96.60	1302.74	1	2090.38	0	394.29
2000	1	45.5	0	48.7	0	457.69	95.90	1452.70	90.70	1393.44	1	2301.29	0	439.58
2000	1	0	0	354.90	0	457.69	95.90	1452.70	90.70	1393.44	1	2301.29	0	439.58
2000	2	29.6	0	27.2	0	487.59	123.1	1575.80	103.5	1496.94	5	2457.94	2	468.80
2000	2	0	0	382.10	0	487.59	123.1	1575.80	103.5	1496.94	5	2457.94	2	468.80
2000	3	29.0	0	23.0	0	540.49	149.7	1725.50	126.0	1622.94	8	2623.02	6	514.66
2000	3	0	0	405.10	0	540.49	149.7	1725.50	126.0	1622.94	8	2623.02	6	514.66
2000	4	33.2	0	17.6	0	570.09	80.00	1805.50	102.4	1725.34	4	2757.16	6	541.02
2000	4	0	0	422.70	0	570.09	80.00	1805.50	102.4	1725.34	4	2757.16	6	541.02
2000	5	33.0	0	25.5	0	602.09	97.50	1903.00	142.0	1867.34	2	2928.58	0	574.32
2000	5	0	0	448.20	0	602.09	97.50	1903.00	142.0	1867.34	2	2928.58	0	574.32
2000	6	31.6	0	28.0	0	630.89	108.0	2011.00	118.6	1985.94	1	3091.99	7	603.89
2000	6	0	0	476.20	0	630.89	108.0	2011.00	118.6	1985.94	1	3091.99	7	603.89
2000	7	37.1	0	27.3	0	662.79	70.50	2081.50	76.80	2062.74	7	3326.96	5	629.74
2000	7	0	0	503.50	0	662.79	70.50	2081.50	76.80	2062.74	7	3326.96	5	629.74
2000	8	29.6	0	33.1	0	704.89	95.80	2177.30	68.30	2131.04	5	3448.61	5	666.19
2000	8	0	0	536.60	0	704.89	95.80	2177.30	68.30	2131.04	5	3448.61	5	666.19
2000	9	27.0	0	19.6	0	730.39	78.20	2255.50	97.60	2228.64	4	3658.15	7	692.26
2000	9	0	0	556.20	0	730.39	78.20	2255.50	97.60	2228.64	4	3658.15	7	692.26
201	0	28.6	0	22.6	0	755.49	69.90	2325.40	108.5	2337.14	4	3813.29	6	717.42
201	0	0	0	578.80	0	755.49	69.90	2325.40	108.5	2337.14	4	3813.29	6	717.42
201	1	24.4	0	36.2	0	777.29	105.0	2430.40	89.00	2426.14	5	4003.64	4	739.06
201	1	0	0	615.00	0	777.29	105.0	2430.40	89.00	2426.14	5	4003.64	4	739.06

201	23.7	665.44	30.7	645.70	33.5	810.79	103.7	2534.10	80.0	2506.14	169.5	4173.23	33.7	772.76
2	0		0		0		0				9		0	
201	21.7	687.14	19.9	665.60	41.1	851.89	121.0	2655.10	106.3	2612.47	196.9	4370.15	36.5	809.28
3	0		0		0		0		3		2		2	

Tabla 52

Distribución Normal

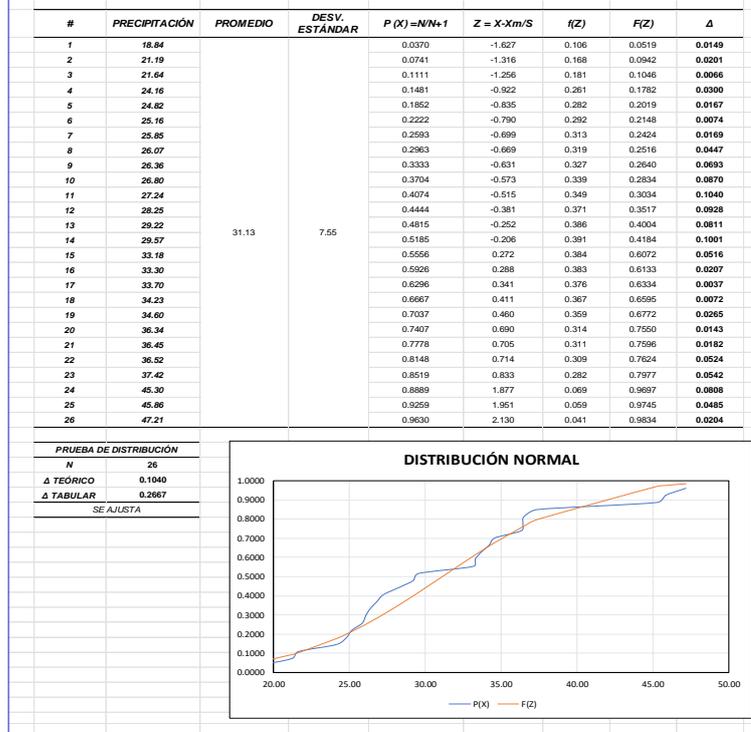


Tabla 53

Distribución Log-Normal 2P

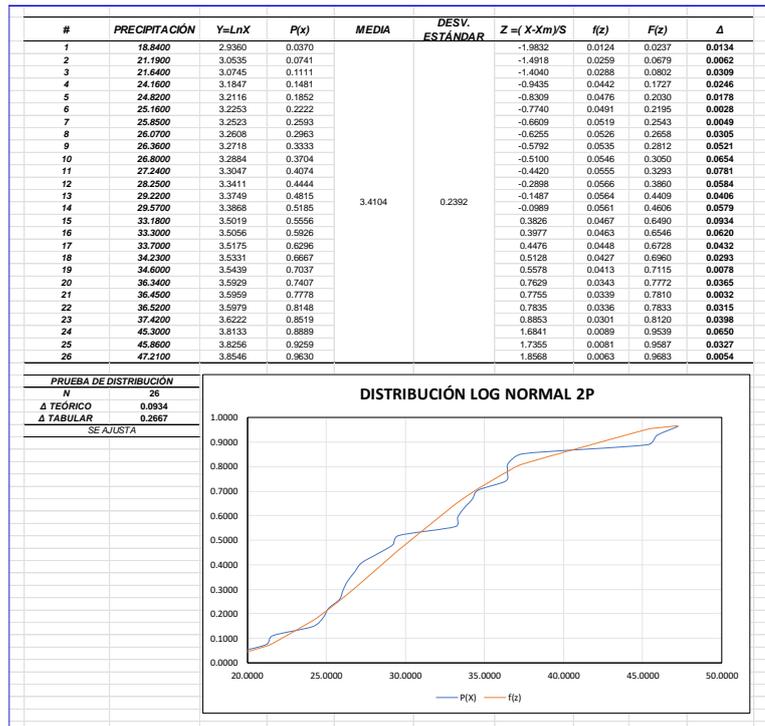


Tabla 54

Distribución Log-Normal 3P

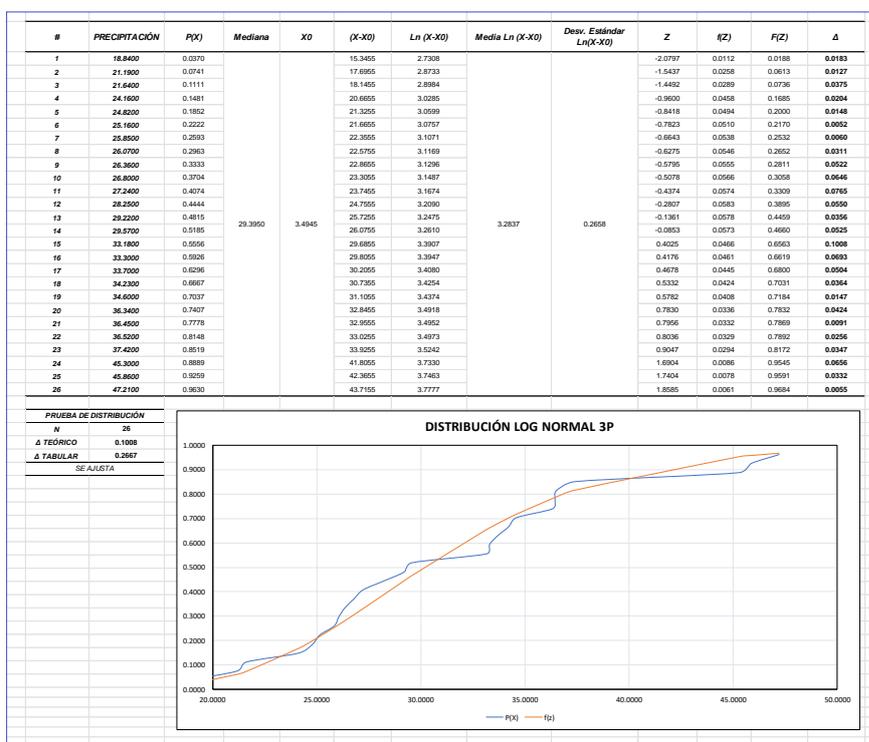


Tabla 55

Distribución Gamma 2P

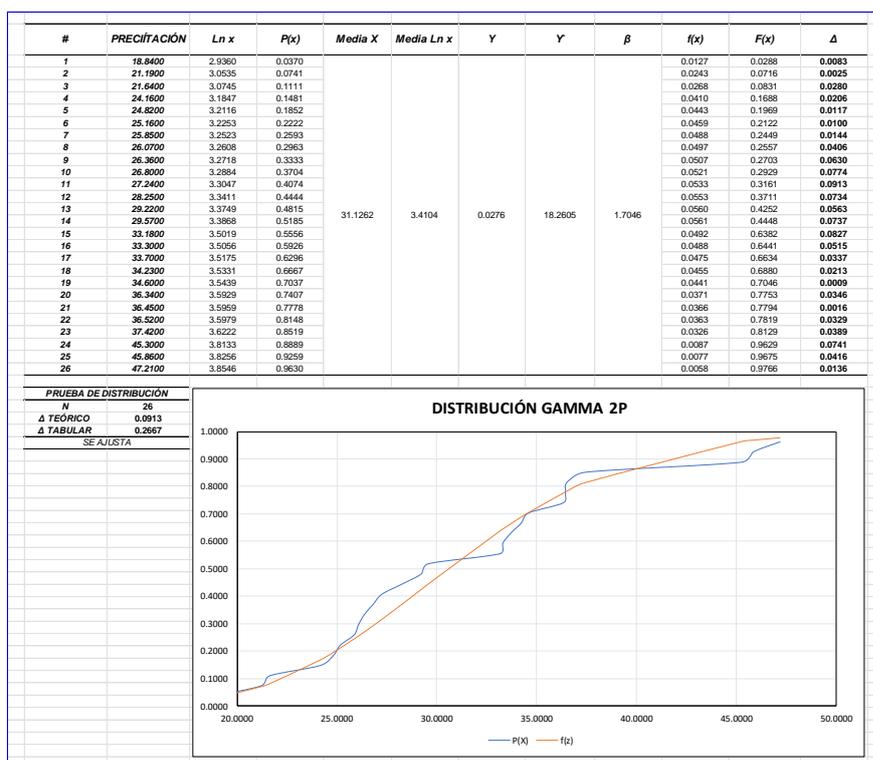


Tabla 56

Distribución Gamma 3P

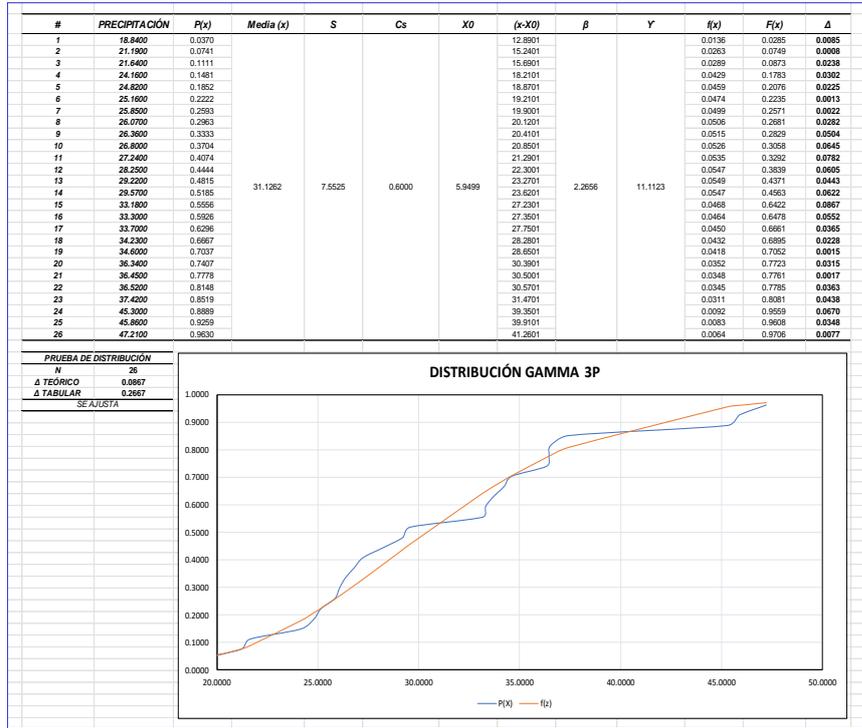


Tabla 57

Distribución Gumbel

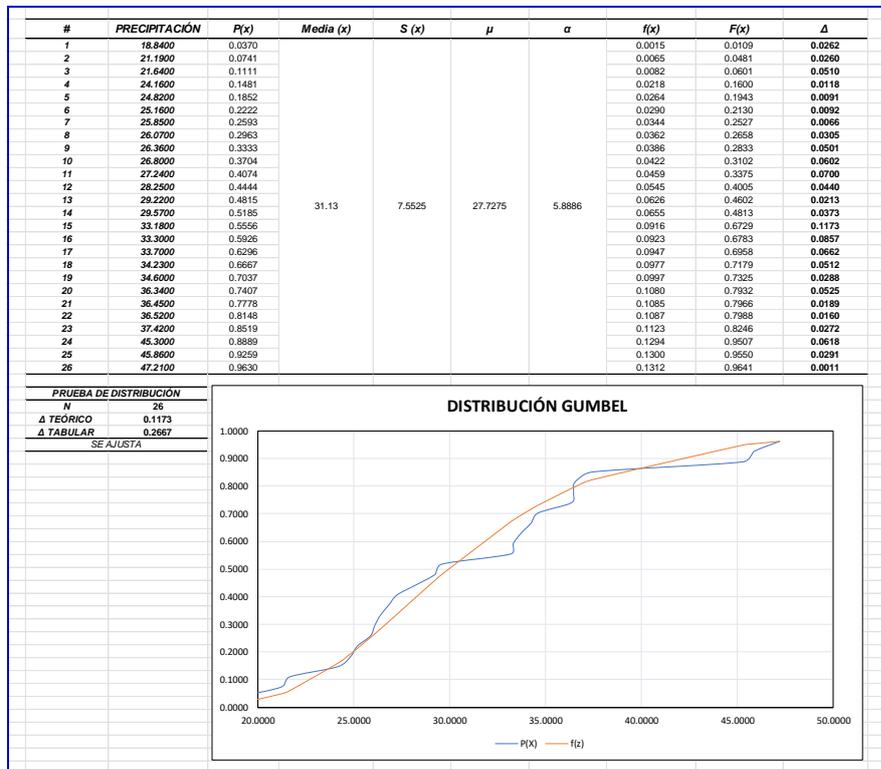


Tabla 58

Distribución Log-Gumbel

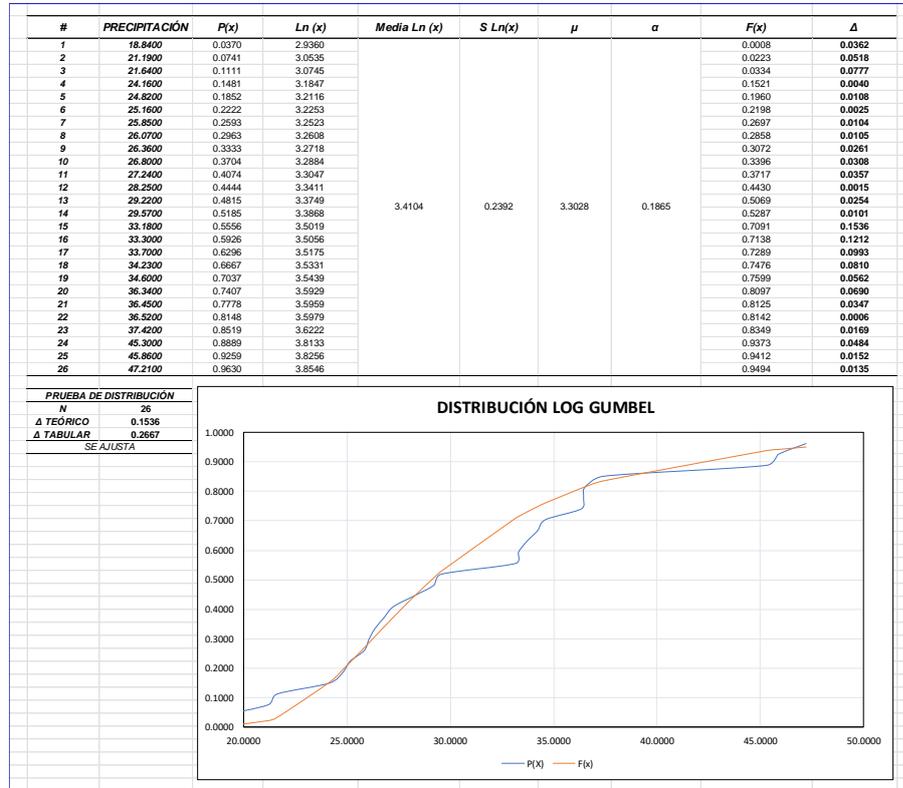


Tabla 59

Valores de intensidades

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN (mm)											
TIEMPO DE DURACIÓN	COEFICIENTE	2 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	105 AÑOS	500 AÑOS	1000 AÑOS	10000 AÑOS
1 hr	0.30	10.2764	12.5698	13.9229	15.4822	16.5545	17.5626	17.6302	19.7173	20.5765	22.9714
2 hr	0.39	13.4558	16.4588	18.2305	20.2723	21.6764	22.9963	23.0848	25.8176	26.9427	30.0785
3 hr	0.46	15.8155	19.3451	21.4274	23.8273	25.4776	27.0289	27.1331	30.3451	31.6674	35.3532
4 hr	0.52	17.7735	21.7400	24.0802	26.7772	28.6318	30.3752	30.4922	34.1019	35.5879	39.7300
5 hr	0.57	19.4679	23.8126	26.3759	29.3300	31.3614	33.2710	33.3992	37.3530	38.9807	43.5176
6 hr	0.61	20.9651	25.6440	28.4044	31.5857	33.7733	35.8298	35.9678	40.2257	41.9786	46.8645
8 hr	0.68	23.5114	28.7586	31.8542	35.4219	37.8752	40.1815	40.3363	45.1113	47.0770	52.5563
10 hr	0.75	25.6028	31.3167	34.6877	38.5728	41.2443	43.7557	43.9242	49.1240	51.2646	57.2313
12 hr	0.80	27.3517	33.4558	37.0571	41.2076	44.0616	46.7445	46.9246	52.4796	54.7664	61.1406
14 hr	0.84	28.8387	35.2747	39.0717	43.4479	46.4570	49.2858	49.4757	55.3327	57.7438	64.4646
16 hr	0.88	30.1282	36.8520	40.8189	45.3907	48.5344	51.4897	51.6880	57.8069	60.3258	67.3472
18 hr	0.91	31.2751	38.2548	42.3727	47.1185	50.3819	53.4497	53.6556	60.0074	62.6222	69.9108
20 hr	0.94	32.3277	39.5424	43.7988	48.7044	52.0776	55.2487	55.4615	62.0271	64.7299	72.2638
22 hr	0.97	33.3302	40.7686	45.1570	50.2147	53.6925	56.9619	57.1813	63.9505	66.7371	74.5047
24 hr	1.00	34.3294	41.9908	46.5108	51.7201	55.3022	58.6696	58.8956	65.8677	68.7379	76.7383

INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/hr)											
TIEMPO DE DURACIÓN	MIN	2 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	105 AÑOS	500 AÑOS	1000 AÑOS	10000 AÑOS
1 hr	60.00	10.2764	12.5698	13.9229	15.4822	16.5545	17.5626	17.6302	19.7173	20.5765	22.9714
2 hr	120.00	6.7279	8.2294	9.1152	10.1362	10.8382	11.4981	11.5424	12.9088	13.4713	15.0393
3 hr	180.00	5.2718	6.4484	7.1425	7.9424	8.4925	9.0096	9.0444	10.1150	10.5558	11.7844

4 hr	240.00	4.4434	5.4350	6.0200	6.6943	7.1579	7.5938	7.6231	8.5255	8.8970	9.9325
5 hr	300.00	3.8936	4.7625	5.2752	5.8660	6.2723	6.6542	6.6798	7.4706	7.7961	8.7035
6 hr	360.00	3.4942	4.2740	4.7341	5.2643	5.6289	5.9716	5.9946	6.7043	6.9964	7.8107
8 hr	480.00	2.9389	3.5948	3.9818	4.4277	4.7344	5.0227	5.0420	5.6389	5.8846	6.5695
10 hr	600.00	2.5603	3.1317	3.4688	3.8573	4.1244	4.3756	4.3924	4.9124	5.1265	5.7231
12 hr	720.00	2.2793	2.7880	3.0881	3.4340	3.6718	3.8954	3.9104	4.3733	4.5639	5.0951
14 hr	840.00	2.0599	2.5196	2.7908	3.1034	3.3184	3.5204	3.5340	3.9523	4.1246	4.6046
16 hr	960.00	1.8830	2.3033	2.5512	2.8369	3.0334	3.2181	3.2305	3.6129	3.7704	4.2092
18 hr	1080.00	1.7375	2.1253	2.3540	2.6177	2.7990	2.9694	2.9809	3.3337	3.4790	3.8839
20 hr	1200.00	1.6164	1.9771	2.1899	2.4352	2.6039	2.7624	2.7731	3.1014	3.2365	3.6132
22 hr	1320.00	1.5150	1.8531	2.0526	2.2825	2.4406	2.5892	2.5992	2.9068	3.0335	3.3866
24 hr	1440.00	1.4304	1.7496	1.9380	2.1550	2.3043	2.4446	2.4540	2.7445	2.8641	3.1974

Tabla 60

Coefficientes de Intensidad

RESUMEN DE APLICACIÓN DE REGRESIÓN POTENCIAL		
PR (AÑOS)	TERMINO CTE DE REGRESIÓN	COEFICIENTE DE REGRESIÓN
2	131.4400	-0.6186
5	160.7738	-0.6186
10	178.0799	-0.6186
25	198.0252	-0.6186
50	211.7403	-0.6186
100	224.6334	-0.6186
105	225.4987	-0.6186
500	252.1934	-0.6186
1000	263.1828	-0.6186
10000	293.8146	-0.6186
PROM	213.9382	-0.6186

REGRESIÓN POTENCIAL						
N°	T	d	ln T	ln d	ln T * ln d	(ln T)^2
1	2	131.4400	0.6931	4.8786	3.3816	0.4805
2	5	160.7738	1.6094	5.0800	8.1759	2.5903
3	10	178.0799	2.3026	5.1822	11.9325	5.3019
4	25	198.0252	3.2189	5.2884	17.0227	10.3612
5	50	211.7403	3.9120	5.3554	20.9503	15.3039
6	100	224.6334	4.6052	5.4145	24.9346	21.2076
7	105	225.4987	4.6540	5.4183	25.2166	21.6593
8	500	252.1934	6.2146	5.5302	34.3680	38.6214
9	1000	263.1828	6.9078	5.5728	38.4959	47.7171
10	10000	293.8146	9.2103	5.6829	52.3419	84.8304
10	11797	2139.3821	43.3279	53.4033	236.8200	248.0735
Ln(K)=	4.9501	K=	141.1907	m=	0.0901	

Tabla 61

Cuadro de intensidades

CUADRO DE INTENSIDADES PARA DIFERENTES PERIODOS DE DURACIÓN												
AÑOS	DURACIÓN EN MINUTOS											
T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T-2	55.53	36.17	28.15	23.56	20.52	18.33	16.66	15.34	14.26	13.36	12.60	11.94
T-5	60.31	39.28	30.57	25.58	22.29	19.91	18.10	16.66	15.49	14.51	13.68	12.97
T-10	64.19	41.81	32.54	27.23	23.72	21.19	19.26	17.74	16.49	15.45	14.57	13.80

T-25	69.72	45.41	35.33	29.57	25.76	23.01	20.92	19.26	17.91	16.78	15.82	14.99
T-50	74.21	48.33	37.61	31.48	27.42	24.50	22.27	20.50	19.06	17.86	16.84	15.95
T-100	78.99	51.45	40.03	33.51	29.19	26.07	23.70	21.82	20.29	19.01	17.92	16.98
T-105	79.34	51.67	40.21	33.65	29.32	26.19	23.81	21.92	20.38	19.09	18.00	17.06
T-500	91.31	59.47	46.28	38.73	33.74	30.14	27.40	25.23	23.45	21.98	20.72	19.63
T-1000	97.19	63.30	49.26	41.23	35.91	32.08	29.16	26.85	24.97	23.39	22.05	20.90
T-10000	119.59	77.89	60.61	50.73	44.19	39.48	35.89	33.04	30.72	28.78	27.13	25.71

Figura 56

Curvas IDF

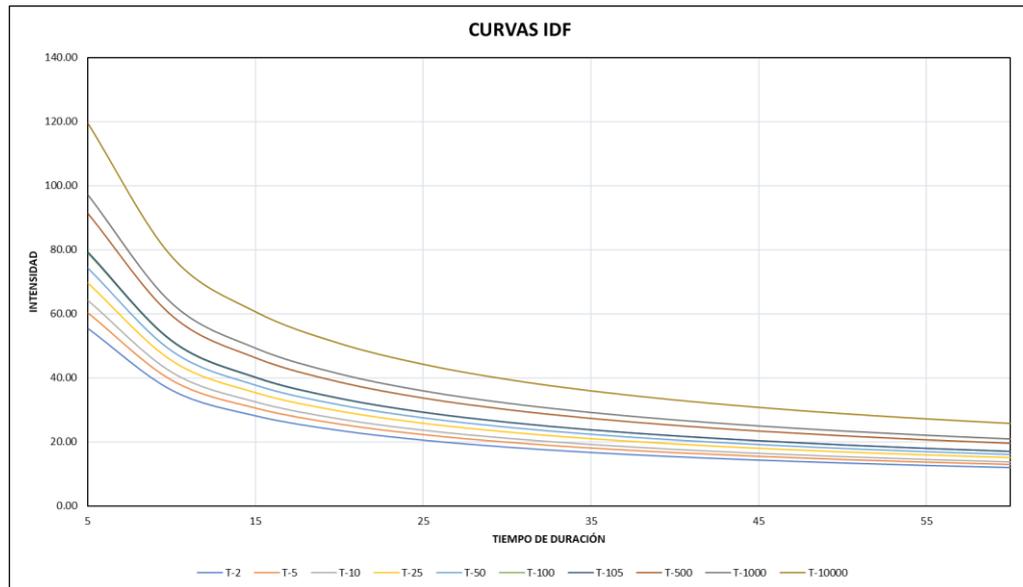


Tabla 62

Hietograma PR=10 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
20	27.232	9.077	9.077	27.232	0.394	1.183	0.394
40	17.736	11.824	2.747	8.241	0.410	1.229	0.804
60	13.802	13.802	1.978	5.933	0.427	1.280	1.231
80	11.552	15.403	1.601	4.802	0.446	1.337	1.677
100	10.063	16.771	1.368	4.105	0.467	1.401	2.144
120	8.989	17.979	1.208	3.623	0.491	1.474	2.635
140	8.172	19.067	1.089	3.266	0.519	1.557	3.154
160	7.524	20.064	0.996	2.989	0.551	1.654	3.705
180	6.995	20.986	0.922	2.766	0.590	1.769	4.295
200	6.554	21.846	0.861	2.582	0.635	1.906	4.930
220	6.179	22.655	0.809	2.426	0.692	2.077	5.623
240	5.855	23.419	0.764	2.293	0.764	2.293	6.387
260	5.572	24.145	0.726	2.178	0.861	2.582	7.247
280	5.322	24.838	0.692	2.077	0.996	2.989	8.244
300	5.100	25.500	0.662	1.987	1.208	3.623	9.452
320	4.900	26.135	0.635	1.906	1.601	4.802	11.052
340	4.720	26.747	0.611	1.834	2.747	8.241	13.799
360	4.556	27.336	0.590	1.769	9.077	27.232	22.876
380	4.406	27.906	0.570	1.709	4.157	12.470	27.033
400	4.269	28.457	0.551	1.654	1.978	5.933	29.011

420	4.142	28.992	0.535	1.604	1.368	4.105	30.379
440	4.024	29.511	0.519	1.557	1.089	3.266	31.468
460	3.915	30.015	0.505	1.514	0.922	2.766	32.390
480	3.813	30.507	0.491	1.474	0.809	2.426	33.198
500	3.718	30.985	0.479	1.436	0.726	2.178	33.924
520	3.629	31.452	0.467	1.401	0.662	1.987	34.587
540	3.545	31.908	0.456	1.368	0.611	1.834	35.198
560	3.466	32.354	0.446	1.337	0.570	1.709	35.768
580	3.392	32.790	0.436	1.308	0.535	1.604	36.302
600	3.322	33.217	0.427	1.280	0.505	1.514	36.807
620	3.255	33.635	0.418	1.254	0.479	1.436	37.285
640	3.192	34.044	0.410	1.229	0.456	1.368	37.742
660	3.131	34.446	0.402	1.206	0.436	1.308	38.177
680	3.074	34.841	0.394	1.183	0.418	1.254	38.596
700	3.020	35.228	0.387	1.162	0.402	1.206	38.997
720	2.967	35.609	4.157	12.470	0.387	1.162	39.385

Tabla 63

Hietograma PR=25 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
20	29.574	9.858	9.858	29.574	0.428	1.285	0.428
40	19.262	12.841	2.983	8.950	0.445	1.335	0.873
60	14.989	14.989	2.148	6.443	0.463	1.390	1.337
80	12.546	16.727	1.738	5.215	0.484	1.452	1.821
100	10.928	18.214	1.486	4.458	0.507	1.522	2.328
120	9.763	19.525	1.312	3.935	0.533	1.600	2.862
140	8.875	20.708	1.182	3.547	0.564	1.691	3.425
160	8.171	21.790	1.082	3.246	0.599	1.796	4.024
180	7.597	22.791	1.001	3.004	0.640	1.921	4.664
200	7.118	23.725	0.935	2.804	0.690	2.071	5.354
220	6.710	24.604	0.878	2.635	0.752	2.255	6.106
240	6.358	25.434	0.830	2.491	0.830	2.491	6.936
260	6.051	26.222	0.788	2.365	0.935	2.804	7.871
280	5.780	26.974	0.752	2.255	1.082	3.246	8.953
300	5.539	27.693	0.719	2.158	1.312	3.935	10.265
320	5.322	28.384	0.690	2.071	1.738	5.215	12.003
340	5.126	29.048	0.664	1.992	2.983	8.950	14.986
360	4.948	29.688	0.640	1.921	9.858	29.574	24.844
380	4.785	30.306	0.619	1.856	4.514	13.542	29.358
400	4.636	30.905	0.599	1.796	2.148	6.443	31.506
420	4.498	31.486	0.581	1.742	1.486	4.458	32.992
440	4.370	32.049	0.564	1.691	1.182	3.547	34.175
460	4.252	32.597	0.548	1.644	1.001	3.004	35.176
480	4.141	33.131	0.533	1.600	0.878	2.635	36.054
500	4.038	33.651	0.520	1.560	0.788	2.365	36.843
520	3.941	34.158	0.507	1.522	0.719	2.158	37.562
540	3.850	34.653	0.495	1.486	0.664	1.992	38.226
560	3.765	35.137	0.484	1.452	0.619	1.856	38.845
580	3.684	35.611	0.473	1.420	0.581	1.742	39.425
600	3.607	36.074	0.463	1.390	0.548	1.644	39.973
620	3.535	36.528	0.454	1.362	0.520	1.560	40.493
640	3.466	36.973	0.445	1.335	0.495	1.486	40.988
660	3.401	37.410	0.437	1.310	0.473	1.420	41.462
680	3.339	37.838	0.428	1.285	0.454	1.362	41.916
700	3.279	38.259	0.421	1.262	0.437	1.310	42.352
720	3.223	38.672	4.514	13.542	0.421	1.262	42.773

Tabla 64

Hietograma PR=50 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
20	31.479	10.493	10.493	31.479	0.456	1.368	0.456
40	20.503	13.669	3.175	9.526	0.474	1.421	0.930
60	15.955	15.955	2.286	6.858	0.493	1.480	1.423
80	13.354	17.805	1.850	5.551	0.515	1.546	1.938
100	11.632	19.387	1.582	4.745	0.540	1.620	2.478
120	10.391	20.783	1.396	4.188	0.568	1.704	3.046
140	9.446	22.042	1.259	3.776	0.600	1.800	3.646
160	8.697	23.193	1.152	3.455	0.637	1.912	4.283
180	8.086	24.259	1.066	3.197	0.681	2.044	4.965
200	7.576	25.254	0.995	2.984	0.735	2.204	5.699
220	7.142	26.189	0.935	2.805	0.800	2.401	6.500
240	6.768	27.072	0.884	2.651	0.884	2.651	7.383
260	6.441	27.912	0.839	2.518	0.995	2.984	8.378
280	6.153	28.712	0.800	2.401	1.152	3.455	9.530
300	5.895	29.477	0.766	2.297	1.396	4.188	10.926
320	5.665	30.212	0.735	2.204	1.850	5.551	12.776
340	5.456	30.919	0.707	2.120	3.175	9.526	15.952
360	5.267	31.600	0.681	2.044	10.493	31.479	26.445
380	5.093	32.259	0.658	1.975	4.805	14.415	31.250
400	4.934	32.896	0.637	1.912	2.286	6.858	33.536
420	4.788	33.514	0.618	1.854	1.582	4.745	35.117
440	4.652	34.114	0.600	1.800	1.259	3.776	36.376
460	4.526	34.697	0.583	1.750	1.066	3.197	37.442
480	4.408	35.265	0.568	1.704	0.935	2.805	38.377
500	4.298	35.818	0.553	1.660	0.839	2.518	39.216
520	4.195	36.358	0.540	1.620	0.766	2.297	39.982
540	4.098	36.885	0.527	1.581	0.707	2.120	40.688
560	4.007	37.401	0.515	1.546	0.658	1.975	41.347
580	3.921	37.905	0.504	1.512	0.618	1.854	41.965
600	3.840	38.398	0.493	1.480	0.583	1.750	42.548
620	3.763	38.881	0.483	1.450	0.553	1.660	43.101
640	3.690	39.355	0.474	1.421	0.527	1.581	43.628
660	3.620	39.819	0.465	1.394	0.504	1.512	44.132
680	3.554	40.275	0.456	1.368	0.483	1.450	44.616
700	3.491	40.723	0.448	1.343	0.465	1.394	45.080
720	3.430	41.163	4.805	14.415	0.448	1.343	45.528

Tabla 65

Hietograma PR=100 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
20	33.507	11.169	11.169	33.507	0.485	1.456	0.485
40	21.824	14.549	3.380	10.140	0.504	1.513	0.990
60	16.982	16.982	2.433	7.300	0.525	1.575	1.515
80	14.214	18.952	1.970	5.909	0.548	1.645	2.063
100	12.381	20.636	1.684	5.051	0.575	1.724	2.638
120	11.061	22.122	1.486	4.458	0.604	1.813	3.242
140	10.055	23.461	1.340	4.019	0.639	1.916	3.881
160	9.258	24.687	1.226	3.678	0.678	2.035	4.559
180	8.607	25.822	1.134	3.403	0.725	2.176	5.284
200	8.064	26.880	1.059	3.176	0.782	2.346	6.066

220	7.602	27.876	0.995	2.985	0.852	2.555	6.918
240	7.204	28.816	0.941	2.822	0.941	2.822	7.859
260	6.856	29.709	0.893	2.680	1.059	3.176	8.918
280	6.549	30.561	0.852	2.555	1.226	3.678	10.144
300	6.275	31.376	0.815	2.445	1.486	4.458	11.630
320	6.030	32.158	0.782	2.346	1.970	5.909	13.599
340	5.808	32.910	0.752	2.257	3.380	10.140	16.979
360	5.606	33.636	0.725	2.176	11.169	33.507	28.148
380	5.422	34.337	0.701	2.103	5.114	15.343	33.263
400	5.252	35.015	0.678	2.035	2.433	7.300	35.696
420	5.096	35.673	0.658	1.973	1.684	5.051	37.380
440	4.952	36.311	0.639	1.916	1.340	4.019	38.719
460	4.817	36.932	0.621	1.863	1.134	3.403	39.854
480	4.692	37.537	0.604	1.813	0.995	2.985	40.849
500	4.575	38.126	0.589	1.767	0.893	2.680	41.742
520	4.465	38.700	0.575	1.724	0.815	2.445	42.557
540	4.362	39.261	0.561	1.683	0.752	2.257	43.309
560	4.265	39.810	0.548	1.645	0.701	2.103	44.010
580	4.174	40.346	0.536	1.609	0.658	1.973	44.668
600	4.087	40.871	0.525	1.575	0.621	1.863	45.289
620	4.005	41.386	0.514	1.543	0.589	1.767	45.878
640	3.927	41.890	0.504	1.513	0.561	1.683	46.439
660	3.853	42.384	0.495	1.484	0.536	1.609	46.975
680	3.783	42.870	0.485	1.456	0.514	1.543	47.490
700	3.715	43.346	0.477	1.430	0.495	1.484	47.984
720	3.651	43.815	5.114	15.343	0.477	1.430	48.461

Tabla 66

Hietograma PR=500 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
20	38.734	12.911	12.911	38.734	0.561	1.683	0.561
40	25.228	16.818	3.907	11.722	0.583	1.749	1.144
60	19.631	19.631	2.813	8.439	0.607	1.821	1.751
80	16.431	21.908	2.277	6.830	0.634	1.902	2.385
100	14.313	23.854	1.946	5.839	0.664	1.993	3.049
120	12.786	25.572	1.718	5.154	0.699	2.096	3.748
140	11.623	27.121	1.549	4.646	0.738	2.215	4.486
160	10.702	28.538	1.417	4.251	0.784	2.353	5.270
180	9.950	29.849	1.311	3.934	0.839	2.516	6.109
200	9.322	31.073	1.224	3.672	0.904	2.712	7.013
220	8.788	32.224	1.150	3.451	0.985	2.954	7.997
240	8.328	33.311	1.087	3.262	1.087	3.262	9.085
260	7.925	34.344	1.033	3.098	1.224	3.672	10.309
280	7.570	35.328	0.985	2.954	1.417	4.251	11.726
300	7.254	36.270	0.942	2.826	1.718	5.154	13.444
320	6.970	37.174	0.904	2.712	2.277	6.830	15.720
340	6.714	38.044	0.870	2.609	3.907	11.722	19.628
360	6.480	38.882	0.839	2.516	12.911	38.734	32.539
380	6.267	39.692	0.810	2.430	5.912	17.736	38.451
400	6.071	40.477	0.784	2.353	2.813	8.439	41.264
420	5.891	41.237	0.760	2.281	1.946	5.839	43.210
440	5.724	41.975	0.738	2.215	1.549	4.646	44.759
460	5.569	42.693	0.718	2.153	1.311	3.934	46.070
480	5.424	43.392	0.699	2.096	1.150	3.451	47.220
500	5.289	44.072	0.681	2.043	1.033	3.098	48.253
520	5.162	44.737	0.664	1.993	0.942	2.826	49.195
540	5.043	45.385	0.649	1.946	0.870	2.609	50.065

560	4.931	46.019	0.634	1.902	0.810	2.430	50.875
580	4.825	46.639	0.620	1.860	0.760	2.281	51.635
600	4.725	47.246	0.607	1.821	0.718	2.153	52.353
620	4.630	47.841	0.595	1.784	0.681	2.043	53.034
640	4.540	48.424	0.583	1.749	0.649	1.946	53.682
660	4.454	48.996	0.572	1.715	0.620	1.860	54.302
680	4.373	49.557	0.561	1.683	0.595	1.784	54.897
700	4.295	50.108	0.551	1.653	0.572	1.715	55.469
720	4.221	50.649	5.912	17.736	0.551	1.653	56.020

Tabla 67

Caudales PR=10 años

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:30may.2023, 20:02:37 Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selecti... Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	976.0	01ene.2023, 14:00	5.28

Tabla 68

Caudales PR=25 años

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selecti... Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	1125.2	01ene.2023, 14:00	6.02

Tabla 69

Caudales PR=50 años

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selecti... Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo... ▾

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	1253.9	01ene.2023, 14:20	6.66

Tabla 70

Caudales PR=100 años

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selecti... Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo... ▾

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	1397.8	01ene.2023, 14:20	7.38

Tabla 71

Caudales PR=500 años

Project: CUENCA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2023, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 01ene.2023, 15:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Select... Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
SUBCUENCA	3778.78	1797.1	01ene.2023, 14:20	9.36

ANEXO 5
PANEL FOTOGRÁFICO



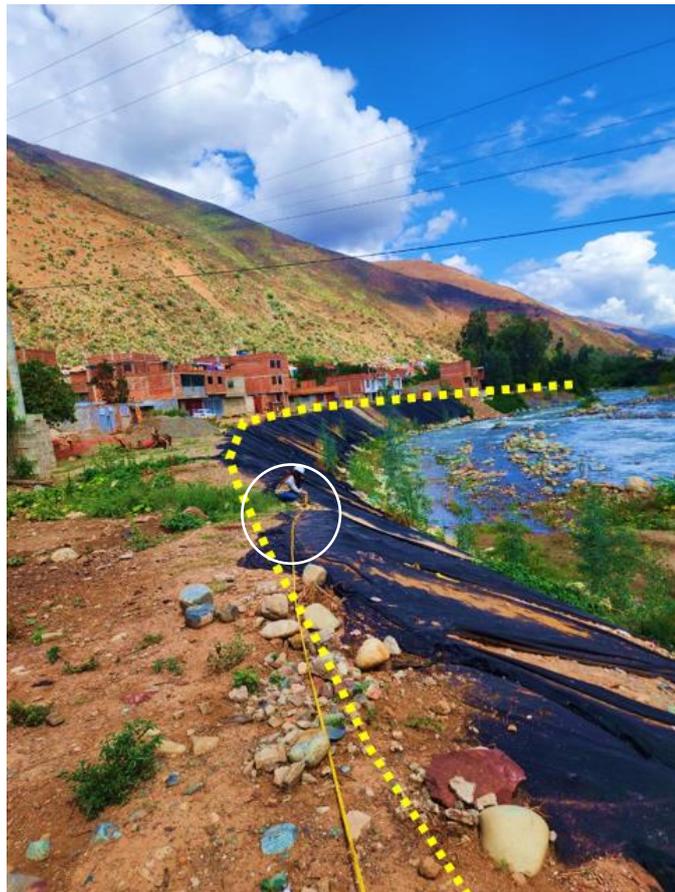
Observación del cauce y alrededores



Descubrimiento de posibles indicios de deslizamientos



Triangulación de ubicación con dispositivo GPS



Medición de la margen del río



Ensamblaje de equipo topográfico



Levantamiento topográfico con equipo especializado