

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Análisis comparativo entre la metodología de Kriging y Thiessen para la interpolación de la precipitación en la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo 2023”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Gamarra Gomero, Alessandro Cesar

ASESOR: Jacha Rojas, Johnny Prudencio

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

D

H

**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

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 48176833

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40895876

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0001-7920-1304

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tuanama Lavi, Jose Wicley	Maestro en gerencia pública	05860064	0000-0002-5148-6384
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 14:00 horas del día **miércoles 02 de setiembre de 2024**, 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. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI	PRESIDENTE
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	SECRETARIA
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2130-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA METODOLOGÍA DE KRIGING Y THIESEN PARA LA INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN LA LOCALIDAD DE AMBO 2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. Alessandro Cesar GAMARRA GOMERO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) ...Aprobado... por ...Unanimidad... con el calificativo cuantitativo de ...12... y cualitativo de ...Suficiente... (Art. 47).

Siendo las 14:50 horas del día **02 del mes de octubre** del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI
DNI: 05860064
ORCID: 0000-0002-5148-6384
PRESIDENTE

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
SECRETARIO (A)

MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ALESSANDRO CESAR GAMARRA GOMERO, de la investigación titulada "Análisis comparativo entre la metodología de Kriging y Thiessen para la interpolación de la precipitación en la cuenca del Río Huallaga en la localidad de Ambo 2023", con asesor JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 557-2023-D-FI-UDH P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 16 de agosto de 2024



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

GAMARRA GOMERO ALESSANDRO CESAR.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

documentos.uru.edu

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1%



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de investigación a mis padres por su inquebrantable apoyo, a mis amigos y seres queridos por su aliento constante, a mi asesor y profesores por su invaluable orientación. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad de Huánuco, cuyo entorno académico y recursos han sido fundamentales para mi crecimiento intelectual. Su confianza en mí ha sido la fuerza motriz detrás de este logro, y mi gratitud hacia todos ellos es eterna.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad de Huánuco por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación en el marco de mi formación académica. Agradezco sinceramente a mis profesores por su valiosa orientación, a mis amigos y compañeros de clase por su apoyo constante, y, sobre todo, a mi familia por su amor incondicional y sacrificio para que pudiera alcanzar este logro. El trabajo realizado aquí no habría sido posible sin la contribución y apoyo de todas estas personas y de la Universidad de Huánuco, cuyo compromiso con la excelencia educativa ha dejado una huella imborrable en mi camino académico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	18
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	26
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	30
2.2. BASES TEÓRICAS	32
2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA	32
2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA	38

2.2.3. PRECIPITACIONES	44
2.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS	54
2.2.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES	59
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	62
2.4. HIPÓTESIS	64
2.5. VARIABLES	64
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	64
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	64
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	65
CAPÍTULO III	66
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	66
3.1.1. ENFOQUE	66
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	66
3.1.3. DISEÑO	66
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	67
3.2.1. POBLACIÓN	67
3.2.2. MUESTRA	67
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	67
3.3.1. TÉCNICAS.....	67
3.3.2. INSTRUMENTOS	69
CAPÍTULO IV.....	78
RESULTADOS.....	78
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	78
4.1.1. DELIMITACIÓN DE CUENCA	78
4.1.2. RECOLECCIÓN DE PLUVIOMETRÍA	85
4.1.3. METODOLOGÍA KRIGING	88
4.1.4. METODOLOGÍA THIESSEN	94
4.1.5. ANÁLISIS DE TORMENTA.....	100
4.1.6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES	103
4.1.7. AFORO EN CAUCE.....	111
4.1.8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	112
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	113
CAPÍTULO V.....	117

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	117
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros evaluadores del índice de compacidad	39
Tabla 2 Clasificación por factor de forma.....	40
Tabla 3 Valores de coeficiente de forma estadística.....	55
Tabla 4 Comparación de series anuales y parciales.....	57
Tabla 5 Valores de C para Burkli-Ziegler	61
Tabla 6 Operacionalización de variables	65
Tabla 7 Ficha de ubicación de estaciones pluviométricas	69
Tabla 8 Ficha de registros históricos	70
Tabla 9 Ficha de precipitaciones por periodos de retorno	71
Tabla 10 Ficha de precipitaciones ajustadas	71
Tabla 11 Ficha de intensidades	72
Tabla 12 Ficha de caudales	73
Tabla 13 Ficha de estimación de caudales	73
Tabla 14 Ficha de valores máximos	73
Tabla 15 Ficha de prueba de valores anómalos	74
Tabla 16 Ficha de pruebas de distribución	75
Tabla 17 Ficha de Valores de caudales.....	75
Tabla 18 Ficha de comparación de resultados	75
Tabla 19 Ficha de punto de aforo de cuenca.....	76
Tabla 20 Ficha de parámetros Geomorfológicos de la cuenca.....	76
Tabla 21 Ficha de índices característicos de la cuenca.....	77
Tabla 22 Ficha de número de curva	77
Tabla 23 Punto de aforo de cuenca	78
Tabla 24 Parámetros Geomorfológicos de la cuenca	79
Tabla 25 Índices característicos de la cuenca	80
Tabla 26 Variabilidad altitudinal	81
Tabla 27 Valores de pendientes	82
Tabla 28 Red hídrica.....	83
Tabla 29 Número de curva	84
Tabla 30 Ubicación de estaciones pluviométricas	85
Tabla 31 Ficha de registros históricos Estación Mayorarca.....	86
Tabla 32 Resumen de datos de precipitación semi completos	87

Tabla 33 Datos preliminares Estación Mayorarca.....	87
Tabla 34 Datos completados Kriging Estación Oyón	89
Tabla 35 Valores máximos por el método Kriging.....	92
Tabla 36 Prueba de valores anómalos	93
Tabla 37 Datos completados Thiessen Estación Oyón.....	95
Tabla 38 Valores máximos por el método Thiessen	98
Tabla 39 Prueba de valores anómalos	99
Tabla 40 Pruebas de distribución-Kriging	100
Tabla 41 Precipitaciones por periodos de retorno.....	101
Tabla 42 Pruebas de distribución-Kriging	102
Tabla 43 Precipitaciones por periodos de retorno.....	103
Tabla 44 Precipitaciones ajustadas	103
Tabla 45 Intensidades para PR=10 años.....	105
Tabla 46 Caudales Kriging.....	107
Tabla 47 Precipitaciones ajustadas	107
Tabla 48 Intensidades para PR=10 años.....	109
Tabla 49 Caudales Thiessen	111
Tabla 50 Tabla de aforos	111
Tabla 51 Estimación de caudales	112
Tabla 52 Valores de caudales.....	112
Tabla 53 Comparación de resultados	113
Tabla 54 Ubicación de estaciones pluviométricas	113
Tabla 55 Precipitaciones por periodos de retorno.....	115
Tabla 56 Valores de caudales.....	116
Tabla 57 Matriz de Consistencia.....	125
Tabla 58 Ficha de registros históricos Estación Ricran	129
Tabla 59 Ficha de registros históricos Estación Carhuacayan	130
Tabla 60 Ficha de registros históricos Estación Oyón	131
Tabla 61 Ficha de registros históricos Estación Milpo	132
Tabla 62 Ficha de registros históricos Estación Tingo María.....	132
Tabla 63 Ficha de registros históricos Estación Tulumayo	134
Tabla 64 Ficha de registros históricos Estación San Rafael	136
Tabla 65 Ficha de registros históricos Estación Canchán	137
Tabla 66 Ficha de registros históricos Estación Huánuco	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Es quema idealizado de una cuenca hidrográfica	32
Figura 2 Clasificación de cuencas	33
Figura 3 Partes de una cuenca	34
Figura 4 Orden de corrientes	34
Figura 5 Método de la pendiente por puntos	35
Figura 6 Estimación de la pendiente por trazo de línea	35
Figura 7 Método de Taylor y Schwarz	36
Figura 8 Clasificación de corrientes	36
Figura 9 Clasificación de corrientes por topografía o edad geológica.....	37
Figura 10 Forma de cuencas relacionado a su hidrograma.....	40
Figura 11 Sinuosidad de un cauce de agua.....	41
Figura 12 Curva hipsométrica	42
Figura 13 Curva hipsométrica tipo 1	42
Figura 14 Curva hipsométrica tipo 2	43
Figura 15 Rectángulo equivalente	43
Figura 16 Precipitación por convección	46
Figura 17 Precipitación orográfica	46
Figura 18 Precipitación ciclónica.....	47
Figura 19 Esquema pluviómetro	48
Figura 20 Esquema de pluviógrafo	49
Figura 21 Pluviograma tipo 1	49
Figura 22 Pluviograma tipo 2	49
Figura 23 Metodología de los polígonos de Thiessen.....	51
Figura 24 Comp. de resultados entre la metodología IDW3 y Kriging Simple	53
Figura 25 Representación de oblicuidad de una distribución.....	55
Figura 26 Curva masa de precipitación	59
Figura 27 Delimitación de la cuenca	78
Figura 28 Análisis de altitudes de cuenca.....	80
Figura 29 Curva hipsométrica y polígono de frecuencia	81
Figura 30 Pendiente de delimitación de cuenca	82
Figura 31 Red hídrica de la cuenca	83

Figura 32 Número de curva	84
Figura 33 Ubicación de estaciones de Interés	85
Figura 34 Mapas de Kriging para datos faltantes.....	88
Figura 35 Registro de lluvias completadas por el método de Kriging	90
Figura 36 Análisis de doble masa por Kriging.....	90
Figura 37 Correlograma estación San Rafael.....	91
Figura 38 Correlograma estación Milpo	91
Figura 39 Interpolación al centroide Estación Kriging	92
Figura 40 Prueba de valores anómalos	94
Figura 41 Mapas de Thiessen para datos faltantes	95
Figura 42 Registro de lluvias completadas por el método de Thiessen	96
Figura 43 Análisis de doble masa por Thiessen	96
Figura 44 Interpolación al centroide Estación Thiessen.....	97
Figura 45 Prueba de valores anómalos	99
Figura 46 Prueba de bondad Normal.....	100
Figura 47 Prueba de bondad Normal.....	102
Figura 48 Curva IDF – Kriging	104
Figura 49 Hietograma de intensidades PR=10	106
Figura 50 Modelo HEC-HMS	106
Figura 51 Curva IDF – Thiessen.....	108
Figura 52 Hietograma de intensidades PR=10	110
Figura 53 Modelo HEC-HMS	110
Figura 54 Sección 0+120	112
Figura 55 Mapas de Kriging para datos faltantes.....	114
Figura 56 Interpolación al centroide Estación Thiessen.....	115
Figura 57 Ubicación de la zona de investigación	128

RESUMEN

La investigación se centró en la tarea de determinar el método más eficaz para la estimación de precipitaciones en la compleja cuenca del río Huallaga, enfocándose en la localidad de Ambo y realizando una comparación detallada entre las metodologías de Kriging y Thiessen. El análisis abarcó la aplicación rigurosa de cálculos para obtener valores de precipitación interpolados, considerando la variabilidad geográfica y climática de la región. Al centrarse en los caudales de diseño, se llevó a cabo un examen exhaustivo de las variaciones en los resultados al emplear ambas metodologías. Los resultados destacaron que el modelo de Kriging presentó una variación significativamente menor, registrando únicamente un 6.49%, en comparación con el considerable 158.07% observado en el modelo de Thiessen, al contrastarlo con el caudal aforado en el lecho del río Huallaga, establecido en 67.42 m³/s. Para la metodología Kriging, se obtuvo un caudal estimado de 71.80 m³/s, mientras que para Thiessen fue de 174 m³/s. En cuanto a la precipitación, se encontró que el promedio anual mediante Kriging fue de 21.72 mm, con una sumatoria de valores de 391.02 mm y una varianza de 19.18 mm respecto a la media calculada. Para Thiessen, el promedio anual de precipitación fue de 32.87 mm, con una sumatoria de valores de 591.60 mm y una varianza de 104.59 mm. Se presentaron, además, detalles específicos sobre los promedios de precipitación, sumatorias de valores y las varianzas asociadas con ambas metodologías. La conclusión central resaltó la evidente superioridad en términos de precisión del modelo de Kriging para la estimación de caudales en la mencionada cuenca. Ante las disparidades identificadas, se emitió una recomendación focalizada en la realización de un análisis aún más detallado, considerando posibles ajustes o refinamientos en los parámetros utilizados en las metodologías, con la meta de perfeccionar la confiabilidad y precisión de las estimaciones de caudal para aplicaciones futuras en la gestión hídrica de la región. Este enfoque más profundo y ajustado permitiría una comprensión más completa de las complejidades locales y aseguraría la utilidad práctica de los resultados en la toma de decisiones y la gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca del río Huallaga, Ambo.

Palabras Clave: Cuencas, Estimación de precipitaciones, Kriging, Thiessen

ABSTRACT

The research focused on the task of determining the most effective method for estimating precipitation in the complex Huallaga River basin, focusing on the town of Ambo and performing a detailed comparison between the Kriging and Thiessen methodologies. The analysis included the rigorous application of calculations to obtain interpolated precipitation values, considering the geographic and climatic variability of the region. By focusing on design flow rates, a thorough examination of the variations in results using both methodologies was carried out. The results highlighted that the Kriging model presented a significantly lower variation, registering only 6.49%, compared to the considerable 158.07% observed in the Thiessen model, when contrasted with the gauged flow in the bed of the Huallaga River, established at 67.42. m³/s. For the Kriging methodology, an estimated flow rate of 71.80 m³/s was obtained, while for Thiessen it was 174 m³/s. Regarding precipitation, it was found that the annual average through Kriging was 21.72 mm, with a sum of values of 391.02 mm and a variance of 19.18 mm with respect to the calculated mean. For Thiessen, the annual average precipitation was 32.87 mm, with a sum of values of 591.60 mm and a variance of 104.59 mm. Specific details on precipitation averages, sums of values, and variances associated with both methodologies were also presented. The central conclusion highlighted the evident superiority in terms of precision of the Kriging model for estimating flow in the aforementioned basin. Given the identified disparities, a recommendation was issued focused on carrying out an even more detailed analysis, considering possible adjustments or refinements in the parameters used in the methodologies, with the goal of improving the reliability and precision of the flow estimates for future applications. in water management in the region. This deeper and tighter approach would allow for a more complete understanding of local complexities and ensure the practical usefulness of the results in decision-making and sustainable management of water resources in the Huallaga River Basin, Ambo.

Keywords: Basins, Precipitation estimation, Kriging, Thiessen

INTRODUCCIÓN

La investigación se adentró en un análisis detallado con el objetivo de determinar el método más eficiente para la estimación de precipitaciones en la compleja cuenca del río Huallaga, particularmente en la localidad de Ambo. A través de una minuciosa comparación entre las metodologías de Kriging y Thiessen, se buscó identificar la aproximación más efectiva en un contexto de variabilidad geográfica y climática. El estudio se centró no solo en los cálculos de precipitación interpolada, sino también en la evaluación de las variaciones en los caudales de diseño aplicando ambas metodologías. Los resultados revelaron diferencias significativas, con el modelo de Kriging demostrando una variación menor en comparación con Thiessen. Además, se presentaron sugerencias para ajustes y refinamientos en los parámetros utilizados en las metodologías. Esta investigación no solo destacó las disparidades identificadas, sino que también buscó proporcionar una base sólida para futuros análisis en la gestión hídrica de la región, enfocándose en la optimización de recursos hídricos en la cuenca del río Huallaga, Ambo.

A partir de ello la presente investigación se estructuró de la siguiente manera:

Capítulo I: En este apartado se fundamentaron los lineamientos de la investigación, descripción del problema, problemas de investigación, objetivos, justificación, limitación y viabilidad.

Capítulo II: Se planteó las bases teóricas que rigen la investigación, los antecedentes relacionados al tema de interés, el planteamiento de la hipótesis y sus respectivas variables.

Capítulo III: Se establecen los parámetros metodológicos que se aplican en la investigación.

Capítulo IV: Se presentan los resultados obtenidos de la investigación.

Capítulo V: Se fundamentan la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el proceso.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los valores de precipitación registrados por las estaciones pluviométricas o pluviográficas de una zona determinada son importantes para la caracterización de la hidrología de la zona de interés, ya que con ello se pueden estimar los valores de escorrentía superficial que se generen en un suelo determinado. Los valores de escorrentía pueden ser aplicados para el diseño de obras civiles de hidráulica o para el cálculo de fajas marginales de inundación, el Perú al ser una zona afectada por el fenómeno del Niño y de la Niña, fenómenos que se caracterizan por el incremento de precipitaciones en el país, requiere de un análisis hidrológico para las diferentes zonas del suelo peruano ya que con ello se evitarían afectaciones a la población causadas por las precipitaciones anómalas y en su efecto de crecida de caudales. El Perú cuenta con estaciones de registro pluviográfico y pluviométrico los cuales en gran mayoría se encuentran en la jurisdicción del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, en la red nacional de estaciones y los registros históricos que brinda no se abarcan todos los puntos del suelo nacional, es por ello que nacen las metodologías de interpolación para las lluvias con la finalidad de estimar los valores de precipitación en un punto determinado que no cuente con una estación de registro, algunas de las metodologías de interpolación de valores de precipitación son la metodología de los polígonos de Thiessen, el cual aplica el peso de acuerdo a la ponderación de la superficie en la cual influencia tomando en cuenta una serie de estaciones relativamente cercanas, y el método de Kriging, el cual basa su aplicación en las correlaciones espaciales de las estaciones de registro cercanas a la zona de interés tomando en cuenta la variabilidad espacial entre ellas. Dichas interpolaciones generan una variabilidad en los resultados de proyección para el cálculo de caudales críticos debido a la variabilidad en los resultados de precipitación que presentan ambas metodologías, nace ahí la necesidad de estimar cuál de los métodos planteados para la estimación de caudales es la más óptima para

una serie de datos y una zona en específico. La región de Huánuco al ser una región que cuenta con varios cursos de agua en toda su superficie requiere de un análisis hidrológico adecuado y una estimación de precipitación adecuada con la cual se puedan plantear estructuras de encausamiento o similares que sean necesarios para la zona y las condiciones que presente. Para ello se requiere de una estimación de precipitaciones adecuadas ya que la región solo cuenta con 5 estaciones con registro histórico disponible para la investigación. A partir de ello la investigación toma en cuenta a la provincia de Ambo ya que dentro de su área no hay una estación en específico con la cual se puedan obtener lecturas de precipitación históricas, se tomará en cuenta al cauce del río Huallaga siendo el más representativo de los cauces que recorre la localidad de Ambo y con la cual se pueda estimar las diferencias en los caudales de diseño ocasionadas por los valores interpolados aplicando las metodologías de Thiessen y Kriging.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué método es el óptimo para la estimación de precipitaciones interpoladas entre la metodología Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuáles son los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Kriging para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?

¿Cuáles son los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?

¿Cómo varían los valores de caudal de diseño aplicando las metodologías de Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el método óptimo para la estimación de precipitaciones interpoladas entre la metodología Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Kriging para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.

Calcular los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.

Identificar como varían los valores de caudal de diseño aplicando las metodologías de Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Con la investigación se establecieron los valores de precipitación con un alto valor de confiabilidad a partir de la comparación de metodologías de interpolación de precipitaciones históricas, con estos valores determinados se establecieron valores de precipitación que podrán ser aplicados en investigaciones que se ejecuten en el área de interés. Con los resultados que se obtengan finalmente se lograron establecer que metodología es la más adecuada para la interpolación de precipitaciones.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Con la investigación se estimó el valor de la incertidumbre y el valor del error que se generaron en la aplicación de las metodologías de

Thiessen y Kriging para la estimación de precipitaciones interpoladas para una zona determinada. Con los resultados se lograron elaborar modelos de diseño que se vean directamente influenciado por los valores de precipitación en la zona de interés.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Con la investigación se establecieron los métodos para una óptima manera de estimar los valores de precipitación a partir de la comparación metodológica de los métodos de Kriging y Thiessen en la estimación de precipitaciones interpoladas para la zona de interés.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

De la zona de interés se pudo identificar que la cuenca no posee estaciones meteorológicas que cuenten con un registro histórico de lluvias por lo cual se omitirán algunos parámetros de comparación, la caracterización del suelo para la estimación de caudales no se encuentra de manera validada en los servidores geoespaciales del Perú, pero se pueden elaborar una clasificación supervisada para estimar los valores más adecuados de caracterización.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación teniendo en cuenta las limitaciones encontradas se consideró viable ya que estas no impiden el proceso de elaboración, considerando el tiempo establecido para la presentación final de la tesis y los costos asumidos por el investigador, la presente investigación se considera viable en su realización.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según (Aragón, 2019), en la investigación que se titula “Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación” para la Universidad Nacional Autónoma de México, se plantea los objetivos: Aplicar principios de interpolación para la estimación de la distribución promedio de variables hidrológicas, elaborar las interpolaciones a partir de variables hidrológicas que faciliten elaborar distribuciones para datos puntuales a una zona, Elaborar parámetros de código con los cuales se identifiquen los valores de las variables hidrológicas en formato ASCII, incorporar metodología para la interpolación de valores (polígonos de Thiessen, Kriging simple e inverso a la distancia), establecer el modelo que facilite el cálculo del valor de la precipitación media con al cual se logren establecer modelos de lluvia-escurrimiento. De la investigación se pudo concluir: Para la evaluación de los métodos considerados en la investigación se realizaron a partir de regresiones lineales y valores de correlación cruzada; evaluando así los valores discrepantes para cada punto registrado a partir de los valores registrados y el valor medio estimado a partir de la extrapolación. Para el análisis de los resultados obtenidos de la investigación se elaboró una metodología por celdas con el fin de discretizar la zona de interés y la determinación del factor b para la metodología del inverso a la distancia, los valores de referencia para las metodologías de interpolación fueron las de las isoyetas generadas en la zona. Se estimaron los valores de error a partir de un análisis de regresión lineal y correlación cruzada estimado a partir del error entre los valores medidos a partir de las estaciones que se localizan dentro de la cuenca. De la investigación se estableció que previamente a la caracterización de la distribución de precipitación se estiman los valores

de precipitación media estimados a partir de metodologías tradicionales, en la investigación no se logró estimar los valores de infiltración ni escurrimiento ya que en la zona no fue posible estimar la lluvia media con los datos medidos. Con ello se establecieron las isoyetas para la zona con la cual se establecieron los parámetros de comparación por la precisión de la estimación. A partir de este procedimiento se estableció que la metodología establecida de los polígonos presenta una mayor confiabilidad en comparación con los valores estimados por el método aritmético en con un porcentaje de diferencia de hasta un 30% aproximadamente. Se pudo estimar que para la investigación la zona de aportación y valores de precipitación media tiene la característica de ser poco sensible con relación a las dimensiones de la celda entre 0.10 m y 0.25 m, los errores estimados para la zona estuvieron entre los errores relativos en un porcentaje aproximado de 18.5%. Para la investigación de la zona de la cuenca que comprende el río Sabinal se estima que las zonas de aportación se encuentran entre los 2500 a 5000 metros, dichas zonas pueden caracterizarse como no representativas debido a que los valores de diferencias superiores al 10% comparando al error relativo de los valores de precipitación que se encuentran en un porcentaje de hasta 7.7%. En promedio para la investigación se utilizaron celdas de 0.01 m para la cuenca hidrológica y con una dimensión de 25 m en la cuenca para el río Sabinal. En la elaboración del modelo para la mesa hidrológica se logró obtener con un valor exponencial de 13 un valor de precipitación muy similar al que se obtuvo aplicando la metodología de las isoyetas, para el modelo elaborado para la cuenca del río Sabinal con un valor exponencial de 11 se logró obtener un error de aproximadamente un 0.04% tomada de la precipitación media. De la aplicación de la metodología Kriging simplificado, en cada uno de los modelos elaborados se aplicaron factores de ajuste en los variogramas teóricos, los ajustes óptimos se lograron obtener con las metodologías de Gauss y Esférico para la cuenca del río Sabinal y para la mesa hidrológica respectivamente. Teniendo en cuenta los valores estimados de precipitación media estimada a partir de las isoyetas se pudo identificar que para ambos casos de análisis la metodología del cálculo

inverso a las distancias es la más adecuada en cuanto a resultados. Para el análisis de los resultados para la metodología de interpolación de precipitaciones se aplicaron las correlaciones cruzadas para la cuenca del río Sabinal se tomaron en cuenta 4 estaciones que se encuentran dentro de su jurisdicción, a partir de la identificación de los valores de error en cada una de las estaciones de medición se logran establecer los parámetros de aplicación de la metodología de Kriging simplificado, para el modelo se tomaron en cuenta regresiones no lineales y con ello se establecieron los modelos teóricos del semivariograma. De la investigación se pudo concluir que para el caso de la denominada mesa hidrológica el método de la distribución espacial adecuada para la lluvia se determinó que es la de Krigin en un 60% de credibilidad en los valores que se obtengan y para el caso de la cuenca del río Sabinal se pudo estimar que el método de Krging da valores óptimos en un 95% en comparación con las otras metodologías tomadas en cuenta.

Para (Cano, 2020), en la investigación que titula “Estudio Hidrológico Cuenca Altavista” elaborada para la Universidad de Antioquia, se establecieron los siguientes objetivos: Elaborar un estudio hidrológico en la denominada quebrada Altavista, elaborar un análisis teórico de metodologías para la caracterización de una cuenca, investigar información hidrometeorológica y cartográfica en la zona cercana a el área de investigación y estimar los valores de caudales máximos en diferentes periodos de retorno, de la investigación se pudo concluir: Para la investigación se tomó en cuenta la caracterización de precipitaciones promedio a partir de la aplicación de los polígonos de Thiessen teniendo en cuenta las estaciones de Olaya Herrera y Astilleros con un área de incidencia de 6.83 y 2.61 km² respectivamente, a partir de ello se estimaron los valores de precipitación para la zona de interés. Partiendo de los valores de precipitación estimados para la zona de interés se identificó que el régimen de la cuenca es de características bimodales presentando 2 periodos de lluvia los cuales se caracterizan por fluctuar entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre, juntamente con el tipo de régimen se identificó que los valores promedios

de precipitación varían entre 1759 mm a 2207 mm registradas por las estaciones Olaya Herrera y Astilleros, el mes identificado como el más lluvioso es la de octubre y la de menos presencia de lluvias es la del mes de enero. Con la caracterización de la información de precipitaciones se tomó en cuenta el inicio de las características de la cuenca de interés con ello se estimó que el tiempo de concentración para la cuenca es de en promedio 2 hrs la cual se estimó a partir del valor de la desviación estándar identificando los límites inferiores y superiores de la serie de datos dando así un tiempo de concentración final para la investigación con lo cual se lograron identificar los valores estimados que no guarden relación con el resto de valores. Para el diseño de la ecuación de las intensidades se calcularon a partir del valor M que se determinó por la incidencia en un % de área con los respectivos valores de precipitación máxima, este método se apoya de la caracterización de los polígonos de Thiessen. Teniendo en cuenta el plan de ordenamiento y manejo de cuencas para el caso de la cuenca del río Aburrá esta se compone por suelos limosos a arenosos con ello se clasificó en el grupo B ya que la cuenca presenta información de precipitaciones acumuladas en 24 hrs, a partir del manual AMCII se pudo identificar los parámetros para la cuenca con ello se estimó que el valor del número de curva de la cuenca es de 91.73. De la caracterización de precipitaciones se identificó que los valores de precipitación efectiva son de 24.40, 29.99, 35.92, 45.20, 53.45 y 62.92 mm para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. A partir de la estimación de caudales por diversas metodologías y con la estimación de los parámetros estadísticos de margen de confiabilidad se logró determinar que los caudales de diseño son 46.62, 57.68, 69.3, 87.64, 104.02 y 122.78 m³/s para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente. De la estimación de valores a partir de la metodología de los polígonos de Thiessen se pudo determinar que para la zona de la cuenca Altavista se genera en porcentaje un 72% de incidencia en relación a la estación Olaya Herrera y teniendo en cuenta para la estación Astilleros se tiene un porcentaje de incidencia del 23% aproximadamente. De la identificación de la capacidad de escorrentía de suelos comprende una

clasificación B con ello se estima que la infiltración que posee la cuenca debido a las características de suelo es de en aproximación de 52 mm. Del análisis de caudales máximos se estimó que los resultados obtenidos para las metodologías racionales y HIMAT se presentaron anomalías en sus resultados comparados con los valores estimados por los otros métodos.

Para (Ibarra, 2022), en la investigación que titula “Propuesta de diseño de infraestructura hidráulica y sistemas de alerta temprana para reducir los registros por inundaciones en la zona El Saltadero, provincia de Los Ríos” elaborado para la Universidad de Guayaquil se establecieron los siguientes objetivos: Elaborar propuestas de diseño para estructuras hidráulicas con la adecuación de sistemas de alerta temprana a fin de mitigar los efectos negativos por inundaciones para la zona denominada El Saltadero, estimar la mejor opción de estructuras de control de inundaciones a partir de simulaciones hidrológicas e hidráulicas, plantear relaciones entre los valores de precipitación generadas en las zonas altas del cauce con lo mismo estimar los valores de crecientes para el periodo de avenidas y con su rango de incidencia en los efectos de riesgo de inundación, a partir de los valores de resultados obtenidos elaborar una metodología de alerta temprana eficiente para una reacción frente a este tipo de eventos naturales. De la investigación se pudo concluir: A partir de la posición geográfica de la zona El saltadero se pudo identificar las condiciones de relieve y regímenes hidrológicos presentan características favorables para la generación de inundaciones dentro de la zona de interés, Uno de los ríos que compone la zona de interés es denominado como río Changuil este se localiza en la zona de abanico aluvial con lo que se puede caracterizar con un comportamiento impredecible generalmente por las modificaciones bruscas en la pendiente debido a que en cierto tramo compone un río de montaña y en otro tramo contiguo en un río de llanura, generalmente en esta zona cuan se ocasionaron eventos de inundación se ocasionaron pérdidas humanas y económicas haciendo presente la necesidad de elaborar una estructura de control de inundaciones con un

plan que se ajuste a los eventos de precipitación anómala en la zona. De las zonas circundantes al área de interés a nivel internacional se logró identificar que hay países que implementaron un sistema de alerta temprana que se basa en la identificación de rangos de precipitación colocando herramientas de medición en las zonas altas de la cuenca de interés, la investigación se basó en la caracterización en tres fases de la zona de interés con la primera fase se establecieron los parámetros hidrológicos de la zona para la estimación de la avenida de diseño en la cuenca; la segunda fase se basó en la investigación de reacción del terreno frente a la ya estimada avenida de diseño para que finalmente en la última fase se estimen los mecanismos de alerta temprana partiendo de los datos de instrumentación meteorológica e hidráulica que se generen en la zona de interés, de la investigación hidrológica de la zona se pudo estimar un caudal de 864 m³/s para un periodo de retorno de 100 años dicho valor se estimó a partir de la aplicación de la metodología de lluvia escurrimiento, elaborando un análisis bidimensional en la zona de interés se logró identificar de manera precisa las zonas de inundación con un mayor punto crítico y a partir de ello se elaboraron mapas de inundación en diferentes periodos de retorno cada uno con su respectiva avenida de diseño, una vez estimadas las zonas más propensas a inundaciones se logró elaborar una estructura hidráulica de encausamiento con la cual se pudo volver a verificar los efectos de control de inundaciones con el software Iber, con los valores de profundidad de inundación a partir de una correlación cuadrática se estimaron los valores máximos de precipitación con los cuales se podrían estimar ascorrentías de inundación en la zona baja del cauce de interés, de la investigación se plantearon los valores de variables hidrológicas con las cuales se pueden ajustar los valores de correlación, la finalidad de los sistemas de alerta temprana con lo cual se generen valores en tiempo real de eventos suscitados en la zonas altas de la cuenca con la finalidad de prevenir a la población las posibles amenazas en la zona de investigación finalmente de la investigación se logró estimar los rangos de valoración con los cuales se pueda establecer parámetros de acuerdo a la posición de la cuenca y establecer las

metodologías de estimación de alertas tempranas para una zona determinada.

Para (Rojas, 2021), en la investigación que titula “Pronóstico de las áreas de inundación en el casco urbano del municipio de Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la cuenca quebrada Negra y río Negro” elaborada para la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, en la cual se planteó los siguientes objetivos: Elaborar un pronóstico de las zonas de inundación para la zona del casco urbano del municipio de Útica en diferentes periodos de retorno en la quebrada Negra y río Negro, estructurar el modelo hidrológico de la cuenca, estimar los parámetros de desempeño del modelo estructurado y estimar un modelo espacial de las huellas de inundación en los periodos de retorno de 2, 25, 50, 100 y 500 años. Para la caracterización de las cuencas de interés se establecieron los parámetros geométricos de la cuenca con un área de 2079.02 y 69.41 km² para la cuenca del río Negro y para la quebrada Negra respectivamente, los valores de coeficiente de compacidad de 1.81 y 1.42, factor de forma de 0.46 y 0.42, orden de drenaje 8 y 5, valores de densidad de drenaje de 1.75 y 1.74, un factor de sinuosidad de 1.12 y 1.09, un valor de pendiente media de 38.68% y 36.34%, una pendiente media del río de 1961 y 1065 m/km para el río Negro y quebrada Negra respectivamente para cada uno de los parámetros. A partir de la elaboración de la curva hipsométrica se caracterizó a las cuencas que se encuentran en un estado de equilibrio o los mismo en un estado de madurez visto desde la geología. Con la delimitación y obtención de información de la cuenca se estimaron los parámetros de realización del modelo hidrológico elaborado en el software HEC-HMS, para el modelo realizado para el software se requirió el valor del número de curva con el cual estimar los valores de caudales de diseño, con lo cual debido a las características del terreno se caracteriza por tener un valor del número de curva de 76. De la cuenca se estimaron los tiempos de concentración con lo cual se pudo estimar los valores de 37.06, 1194.37, 169.44 y 142.26 minutos para diferentes metodologías. A partir de las estaciones

que se encuentran en la zona de investigación se logró estimar los caudales generados para cada una de las cuencas con los cual se estimaron valores de 108, 191, 210, 228 y 269 m³/s para periodos de retorno de 2, 25, 50, 100 y 500 años específicamente para la estación Charco Largo. Para la zona de interés se logró identificar que las zonas de inundación llegan a ocupar alrededor de 12 ha para los periodos de entre 2 a 500 años, específicamente se pudieron identificar que las áreas ocupadas fueron de 17.36, 22.37, 23.24 y 29.39 para los periodos de retorno de 2, 25, 50, 100 y 500 años.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Para (Santos, 2021), en la investigación que titula “Modelo hidráulico para delimitación de faja marginal río Caplina sector río Seco, Distrito G. Albarracín, Tacna” elaborado para la Universidad Privada de Tacna, en esta investigación se planteó como objetivos: Elaborar un modelo de análisis hidráulico para la zona de faja marginal del río Caplina a fin de salvaguardar las vidas humanas que habiten las zonas circundantes a la zona de interés, elaborar un procedimiento especializado en hidrología e hidráulica en el recorrido del río Caplina y la cuenca que lo contiene en los softwares Hidroesta2, ArcGIS, Hec-HMS y Hec-RAS con la finalidad de estimar los caudales de diseño, zonas de inundación, identificación de la faja marginal. De la investigación se pudo concluir lo siguiente: El modelo de la cuenca se elaboró en el software ArcGIS con ello se logró establecer los parámetros de geomorfología de la cuenca Caplina dando también una caracterización completa de los parámetros físicos de la misma ya que dichos valores sirvieron para la estimación de modelos de simulación hidráulica en la zona de interés, Los valores estimados para la cuenca comprenden un área de 810 km² en aproximación, con un orden de red de grado 6, un longitud de red de 1120 km, y caracterizando una pendiente promedio de alrededor al 2% y un tiempo de concentración de 81.63 min de la cuenca. Para el análisis de precipitaciones de la cuenca se tomaron en cuenta a 6 estaciones que son de la jurisdicción del

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), con ello se establecieron un periodo de análisis de 20 años. Con los registros históricos de pluviometría de las estaciones Bocatoma, Toquepala, Palca, Calientes, Calana y Jorge Basadre cada una de estas estaciones de análisis fueron analizados a partir de los parámetros estadísticos teniendo como una distribución adecuada las de distribución normal, distribución normal, distribución log normal 3 p, distribución log normal 3 p, distribución log normal 2 p y distribución normal respectivamente para cada una de las estaciones. Con esta información se estimaron los valores de tiempo de retorno e intensidad para la estimación del modelo hidráulico en el software HEC-RAS, con ello se estimará la delimitación de la faja marginal de la cuenca de interés. Se tuvieron en cuenta para la delimitación de la cuenca imágenes de elevación digital con una resolución de 1.25 x 12.5 m a partir de ello se puede estimar que presenta una aproximación adecuada con ello se estimaron los valores de caudal de aproximadamente 11.70 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, teniendo un área de drenaje de 135.52 km², para el modelo hidráulico elaborado para la faja marginal del río Caplina se estimó una longitud total de 40 m, 30 m al lado derecho y 10 m por el margen izquierdo.

Para (Madrid, 2019), en la investigación que se titula “Estimación de precipitación superficial utilizando 5 métodos como base para la determinación del balance hídrico en la cuenca media y alta del Mantaro” elaborada para la Universidad Nacional del Centro del Perú se plantearon los siguiente objetivos: Establecer la metodología para el cálculo de los valores de precipitación superficial con el fin de establecer las bases de investigación para la estimación del balance hídrico en la parte media y alta de la cuenca del Mantaro, Analizar cada una de las metodologías para el cálculo de la precipitación superficial con la finalidad de calcular los valores de balance hídrico, análisis de métodos geoestadísticos para el cálculo del balance hídrico y evaluar de manera comparativa los resultados obtenidos en el balance hídrico de la cuenca del Mantaro. De la investigación se pudo concluir: Para los métodos

denominados como determinísticos se tuvo que tener en cuenta que los requerimientos de un alto grado de información espacial brindadas por las estaciones meteorológicas e identificar la disponibilidad de información climática que se valide como un valor confiable con el fin de eliminar los rangos de error que se pueden generar, con el método denominado IDW se estimaron óptimos resultados en comparación con los valores RMSE dando un valor de precipitación en verano un valor de 70.70 m y para la temporada de otoño una precipitación de 43.43. La aplicación del método de Spline dio mejores resultados en relación a los valores de sesgo que se generaron en el modelo de precipitación, para la temporada de verano se estimó un valor de -6.53 y para otoño un valor de -6.17. Los valores de tendencia para la correlación de valores de distribución espacial para las estaciones meteorológicas se estimaron a partir de factores condicionantes para una regresión lineal múltiple, con lo cual se estimó que esta metodología presenta valores más óptimos en comparación a las metodologías que se caracterizan por presentar una distribución no lineal en las regresiones elaboradas. Con estos resultados se pudo determinar que la metodología de Kriging arroja valores con óptimos resultados para la estimación de los valores de precipitación superficial anual con un valor de 125.93 mm con un valor de sesgo de 26.13. Del balance hídrico realizado en la zona en temporadas de invierno generan valores inestables entre áreas resultantes de aproximadamente un 18%, los valores de área subhúmeda estimada con la metodología de las regresiones lineales múltiples generan una mayor variabilidad en un 45% y con la aplicación de los polígonos se estima una variabilidad de 26%. De los resultados de balance hídrico para la temporada de verano se estimó que los valores menos variables para áreas resultantes son de 7%, con la superficie generada por la metodología Spline genera una alta variabilidad de 25% y con los polígonos se estimó un valor menor de 24%.

Para (Herrera, 2018), en la investigación que titula “Niveles de precipitaciones proyectadas en la cuenca del valle de Cajamarca para

un horizonte de 10 años, que permita identificar zonas de riesgo” elaborada para la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, se establecen los siguientes objetivos: Estimar el nivel de precipitación que se proyectan en la cuenca del valle Cajamarca para un periodo de retorno de 10 años e identificar las zonas de riesgo por inundación, Evaluar los niveles de precipitación en el periodo temporal del 2013 al 2016 anuales y mensuales, estimar a partir de una metodología adecuada los valores de precipitación con el fin de analizar un periodo de retorno de 10 años y identificar las zonas de alto riesgo frente a inundación ubicada en la cuenca del valle de Cajamarca con los valores de precipitación estimadas para una proyección de 10 años. De la investigación se pudo concluir: Los promedios de precipitaciones fueron 1129, 606 y 345 mm para las estaciones G. Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria respectivamente. En promedio para la cuenca se estimó una precipitación de 693.65 mm anuales con una desviación estándar de 326.09 mm. De acuerdo con los valores y a las condiciones que presenta la cuenca y los valores de precipitación no se puede aplicar para la zona la metodología del promedio aritmético ya que no se tiene una dispersión superior al 10% del promedio. A partir de ello se estimó que para el cálculo de la precipitación promedio de la cuenca por la metodología de las isoyetas a partir de la disgregación del área y los valores de precipitación promedio, con esta metodología se estima que para la cuenca del valle de Cajamarca se estima una precipitación media de 705.08 mm/km², teniendo en cuenta también la metodología de los polígonos de Thiessen para la cuenca de interés no se pudo elaborar un modelo debido a la falta de información variada en la superficie que se tomó en cuenta para la investigación. Aplicando la metodología de Gumbel para la estimación de precipitación máxima en un horizonte de 10 años se pudo determinar que el valor es de 394 mm. De la estimación de las intensidades de lluvia para las estaciones de análisis se lograron estimar los valores de 3.09, 1.66 y 0.94 mm/día para las estaciones Granja Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria, clasificándose así según los parámetros del SENAMHI como intensidad moderada, ligera y mínima respectivamente. De la caracterización de la lluvia se logró

identificar que para la estación Granja Porcón presenta una mayor lectura de lluvias en los meses que comprenden de diciembre a marzo, para el caso de la estación Augusto Weberbauer de la misma forma que la anterior se presentan altas lecturas entre esos meses, pero con la diferencia de los valores que son de nivel moderado.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Para (Advincula, 2019), en la investigación que se titula “Factores de riesgo ante el peligro por lluvias intensas en el asentamiento humano San Luis sector III, IV, V del distrito de Amarilis, Huánuco”, elaborada para la Universidad de Huánuco, se plantean los siguientes objetivos: Plantear los factores que generan peligro ante lluvias intensas, reconocer los factores que condicionan el peligro por lluvias intensas, identificar los factores que desencadenan peligros por lluvias intensas y estimar los valores del nivel de riesgo por lluvias intensas. De la investigación se pudo concluir: A partir de la determinación de los factores desencadenantes frente a eventos de lluvias intensas en el asentamiento humano San Luis se caracterizó con un porcentaje de priorización de 22.7%, con este valor se pudo catalogar que se coexisten factores relacionantes entre los valores máximos y la presencia a lo largo de diversos años, adicionalmente a esa relación se pudo establecer que los valores de intensidad antes de la culminación de la tormenta en tiempos de duración relativamente largos. Se logró determinar que los factores que condicionan los efectos de riesgo frente a lluvias intensas son las de geología, geomorfología y pendiente con ello también se pudo identificar que es necesario la utilización de información cartográfica para las condiciones físicas de la obra. Se determinó que el nivel de riesgo frente a lluvias intensas es alto con ello se pudo evidenciar la necesidad de realizar un modelo espacial con el cual se logre identificar los puntos más críticos de la zona de interés, adicionalmente a ello se elaboró una caracterización de las condiciones en que se encuentran las viviendas de la población de interés con ello se pudo estimar que las viviendas cuentan con material rústico (adobe), y con ello frente a

eventos de lluvias extremas se generaría un alto grado de peligrosidad para la población que habita la zona.

Para (Acha, 2022), en la investigación que titula “Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco” elaborada para la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en la cual se establecieron los siguientes objetivos: Calcular los valores máximos de lluvia que detonen los valores de deslizamiento en la provincia de Leoncio Prado, elaborar un historial de eventos históricos de deslizamientos del 2000 al 2020, estimar los valores de precipitaciones previos a los deslizamientos observados y determinar los valores de los umbrales de lluvia previo a los deslizamientos. De la investigación se logró concluir lo siguiente: Del análisis de deslizamientos registrados históricamente entre los años 2000 a 2020 para la provincia de Leoncio Prado del registro se desestimó 10 eventos los cuales no fueron localizados con precisión, sin estos registros se logró identificar un total de 151 eventos de deslizamiento de los cuales se contabilizaron 112 deslizamientos, 13 eventos de derrumbes con 26 huaycos, de la contabilización de eventos se pudo identificar que para el año 2020 se registraron una mayor cantidad de eventos de deslizamiento. Para el modelo de precipitaciones se establecieron que las alturas de precipitaciones medias valores de 128, 142, 149 y 182 mm para las estaciones de La Divisoria, Tulumayo, Tingo María y Aucayacu teniendo valores dentro de los límites aceptables de registro histórico. Los valores presentan una varianza de entre un 7.57, 13.48, 8.34, 14.14, 9.19, 15.57, 9.99 y 15.93 +/- mm para las estaciones de Tulumayo, La Divisoria, Tingo María, Aucayacu. Con los valores de precipitación de la estación se elaboró una interpolación para la zona de interés con ello se estimó los valores de lluvia de 449.17, 560.85, 615.04, 669.75 y 703.44 mm para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 años. Los valores de umbrales de lluvias detonantes de deslizamientos para la provincia de Leoncio Prado con valores de probabilidad entre 0.71 a 0.85 con lluvias precedentes de 3, 5, 7, 10, 15 y 30 días para

periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años con ello se pudo identificar que los valores de umbral varían entre los 98.25 mm a 282.29 mm.

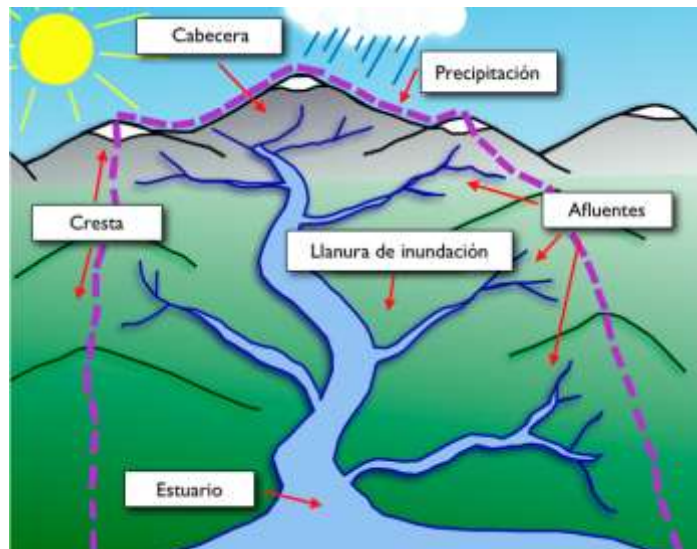
2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

Se establece que una cuenca es el área terrestre que si idealmente fuera impermeable todas las gotas de agua que caen dentro de la cuenca van a ser drenadas por la serie de corrientes que compone la cuenca y los cuales culminan en un punto en común. La clasificación de una cuenca se puede establecer superficial y subterránea teniendo las mismas características, pero no necesariamente presentan los mismos límites. De acuerdo a la clasificación por el tipo de salida como exorreicas o endorreicas, que para la primera el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y el cual se encuentra en otra corriente o en el mar, para la segunda clasificación el punto de salida se encuentra dentro de los límites de la cuenca. (Aparicio, 2002)

Figura 1

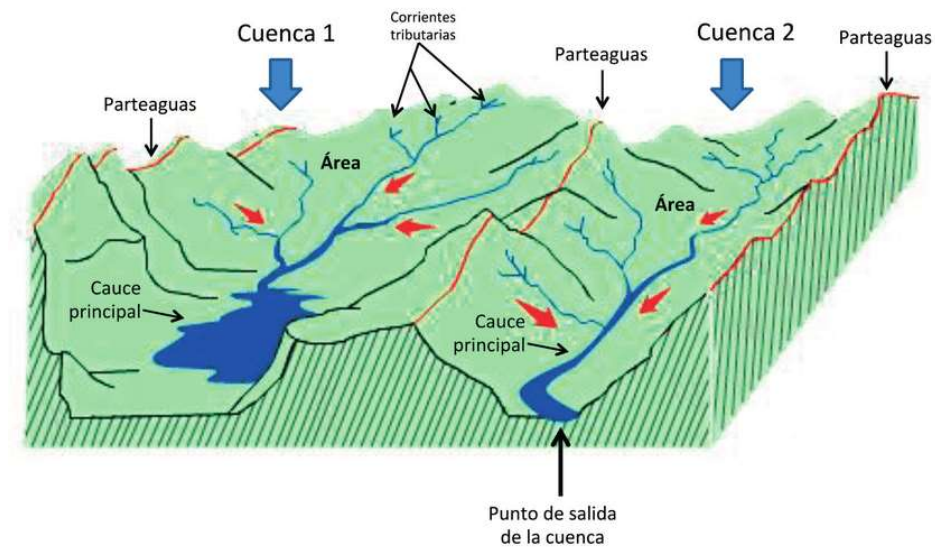
Es quema idealizado de una cuenca hidrográfica



Nota. Modelo en el cual se indican características que componen una cuenca. (Ordoñez, 2011)

Figura 2

Clasificación de cuencas



Nota. En la parte de la cuenca 1 se ejemplifica una cuenca endorreica y en la parte derecha una exorreica. (Gleason, 2017)

➤ **Composición de una cuenca**

Parteaguas: Línea establecida de manera imaginaria tomado a partir de los puntos más altos que se estiman dentro de una cuenca, con esta línea se separan una cuenca de otra.

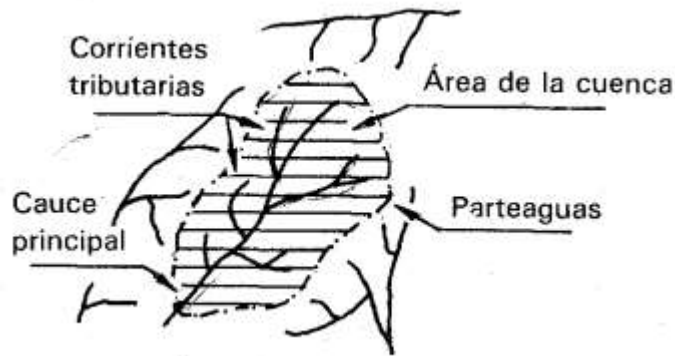
Área: Se define como área a la zona en la cual la proyección horizontal de la zona delimitada por el parteaguas.

Corriente principal: Se define como dicha corriente que drena una cuenca es decir pasa por el punto de salida de la cuenca, el resto de corrientes que compone la cuenca se denominan cuencas tributarias.

Orden de corriente: Estos ordenes se identifican a partir de lo siguiente si una corriente es de orden 1 es característico de ser tributario sin ramificaciones, para una de orden 2 es característico de poseer tributarios de orden 1, dicho de otra manera, dos corrientes de orden 1 componen una corriente de orden 2, y así para el resto de órdenes de corriente.

Figura 3

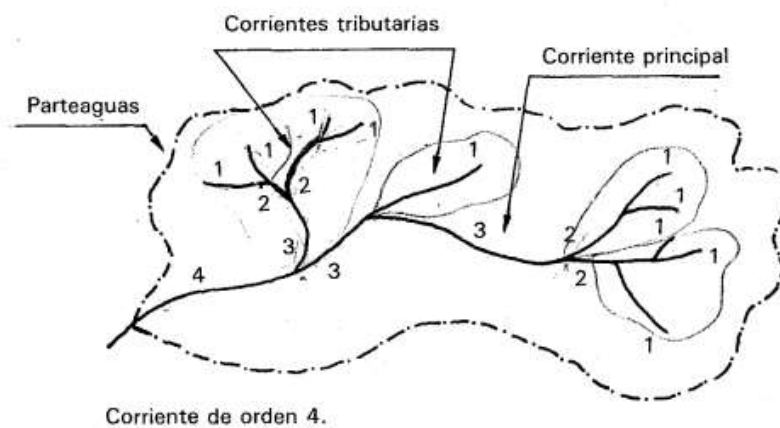
Partes de una cuenca



Nota. Partes de una cuenca simplificada. (Aparicio, 2002)

Figura 4

Orden de corrientes



Nota. De la gráfica se ejemplifican las corrientes de diferente orden y su distribución. (Aparicio, 2002)

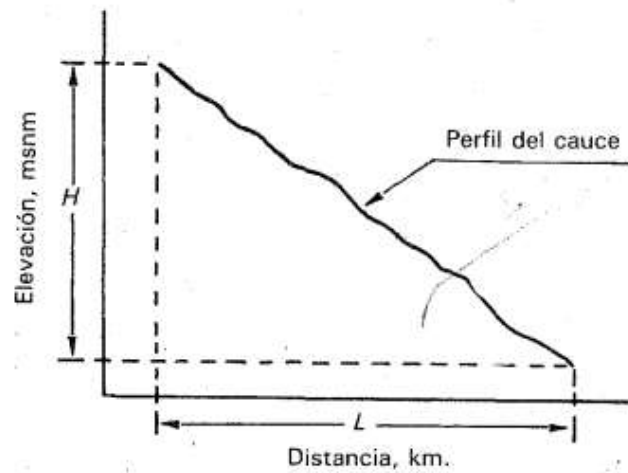
➤ Características de la cuenca

Pendiente del cauce principal: Este parámetro es uno de los más importantes debido a la relación que se establece entre el valor de la pendiente y la respuesta ante precipitaciones de la cuenca. El valor de la pendiente media se puede estimar a partir de 3 metodologías las cuales son la estimación de una línea de desnivel que existe entre los puntos inicial y final del cauce, el método de la pendiente media se estima a partir del trazado de una línea que compense las área que se encuentren en la parte superior e inferior del trazo y la metodología de

Taylor y Schwarz a partir de la realización de un canal con una sección transversal uniforme que presente características de longitud y tiempo de recorrido igual al de la corriente de interés.

Figura 5

Método de la pendiente por puntos

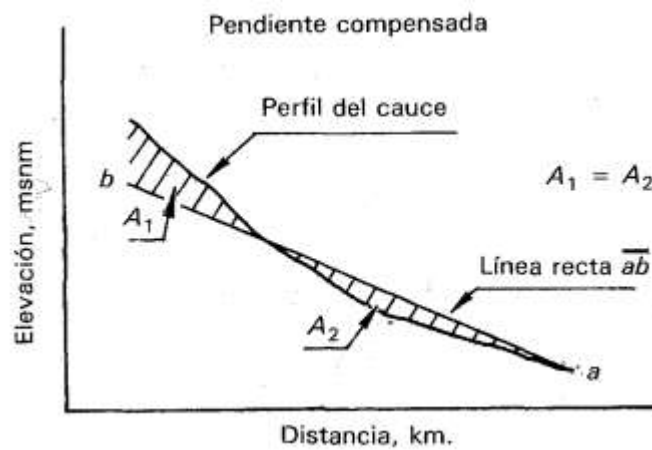


Nota. Estimación de valores de pendiente de acuerdo a los puntos iniciales y finales.

(Aparicio, 2002)

Figura 6

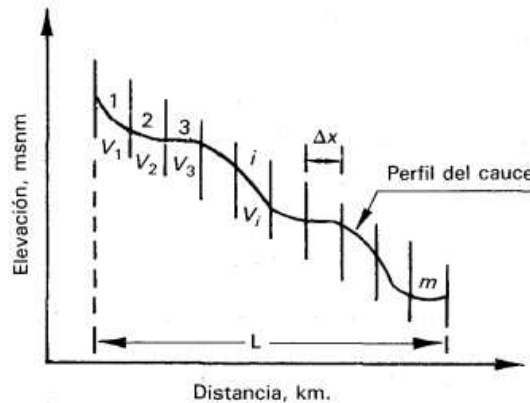
Estimación de la pendiente por trazo de línea



Nota. Cálculo de la pendiente a partir del trazo de compensación. (Aparicio, 2002)

Figura 7

Método de Taylor y Schwarz



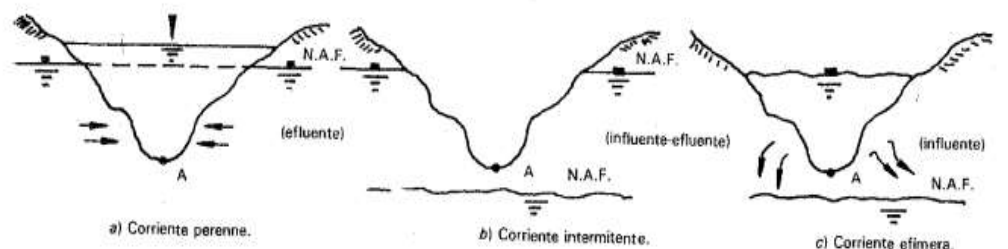
Nota. Estimación del valor de pendiente por el método de Taylor y Schwarz. (Aparicio, 2002)

➤ **Clasificación de corrientes por el tiempo de transporte de agua**

Se clasifican como corrientes perennes a las que el cauce se encuentra bajo los niveles del agua, este tipo de corriente siempre transportan agua en todo el periodo del año. Para la clasificación de corrientes intermitentes se sabe que son corrientes que transportan agua en temporadas de lluvia cuando los valores de nivel freático son superiores al del punto más bajo del cauce. Para las corrientes efímeras se sabe que el nivel freático se encuentra por debajo del punto más bajo del cauce, este tipo de corrientes generalmente son los alimentadores de los yacimientos de agua subterránea. (Aparicio, 2002)

Figura 8

Clasificación de corrientes



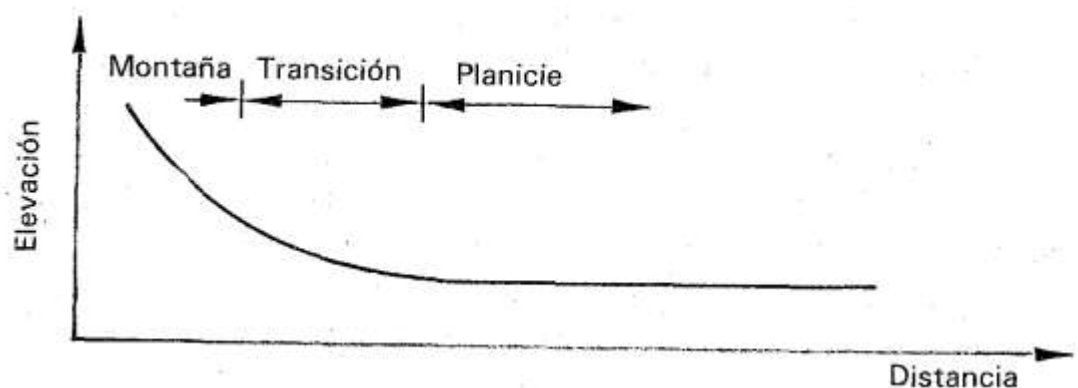
Nota. Gráfico generalizado para la clasificación de las corrientes. (Aparicio, 2002)

➤ **Clasificación de los ríos por ubicación topográfica o edad geológica**

Partiendo de la clasificación topográfica estos pueden ser categorizados como ríos de montaña o juveniles, de transición o maduros, o bien de planicie o viejos. Para un mismo cauce se pueden presentar diferentes clasificaciones, los ríos de montaña se caracterizan por presentar valores altitudinales por encima de los niveles del mar, presencia de pendientes altas con sinuosidades, en su cauce debido a las altas velocidades de flujo se presentan materiales denominados como cantos rodados y poca presencia de grava y material fino. Los ríos clasificados como planicies a diferencia del anterior mencionado presenta meandros en gran cantidad ocasionados por las bajas velocidades que presenta el agua, en su cauce generalmente se presentan arenas y materiales finos. Los ríos clasificados como ríos de transición se caracterizan en un punto intermedio a los anteriores ya mencionados, algunos de los ríos de esta categoría presentan curvas, las velocidades del flujo son moderadas y en el cauce se encuentran materiales conformados por grava con presencia menor de cantos rodados y arena.

Figura 9

Clasificación de corrientes por topografía o edad geológica



Nota. Relación entre elevación y distancia para clasificación de corrientes. (Aparicio, 2002)

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA

Los valores hallados dependen de los parámetros de morfología en que se encuentre la cuenca ya sea: forma, los valores de relieve, características de las redes de drenaje, etc.

➤ Área de drenaje

Proyección de la zona plana (proyección horizontal) que se limita por la línea divisoria topográfica establecida para la cuenca.

➤ Forma de cuenca

Una de las principales características para la estimación de los valores del tiempo de concentración de una zona determinada.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c): Es el valor de la proporción entre los valores del perímetro de la cuenca con el valor equivalente a la circunferencia que presente la misma área que la cuenca de interés. Dando paso a la siguiente expresión matemática:

$$A = \pi r^2 \quad r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi r}$$

$$K_c = 0.28 \frac{P}{A^{0.5}}$$

De las expresiones se sabe:

P = Perímetro (km)

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

Se puede establecer que mientras más alto sea el valor de irregularidad de la cuenca el valor del coeficiente de compacidad será mayor. Una cuenca con superficie similar a una circunferencia presenta un valor de coeficiente mínimo que equivale generalmente a 1. Característicamente una cuenca presenta mayor recurrencia a crecidas si el valor del coeficiente es próximo a la unidad. (Monsalve, 1999)

Tabla 1*Parámetros evaluadores del índice de compacidad*

Rango	Descripción
1 a 1.25	Forma casi redonda a oval – redonda
1.25 a 1.5	Forma oval – oblonga
Mayor a 1.5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

Nota. Rangos característicos del índice de compacidad de una determinada cuenca.

(Monsalve, 1999)

Factor de forma (K_f): Valor de proporción entre la dimensión del ancho de la cuenca con el valor de la longitud axial de la misma, el valor de la longitud axial se estima en la misma dirección que el curso de agua más largo que compone la cuenca desde la cabecera hasta el punto de desembocadura de la cuenca. El valor de ancho medio de una cuenca se estima a partir de la división entre el área y la longitud axial de la hoya, expresándolo matemáticamente de la siguiente manera.

$$K_f = \frac{B}{L}$$

$$B = \frac{A}{L}$$

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

De la expresión se sabe:

B = Ancho medio (km)

L = Longitud axial (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Característicamente una cuenca con un valor de factor de forma bajo presenta menos crecientes en comparación con otra cuenca del mismo tamaño, pero con un factor de forma mayor.

Tabla 2

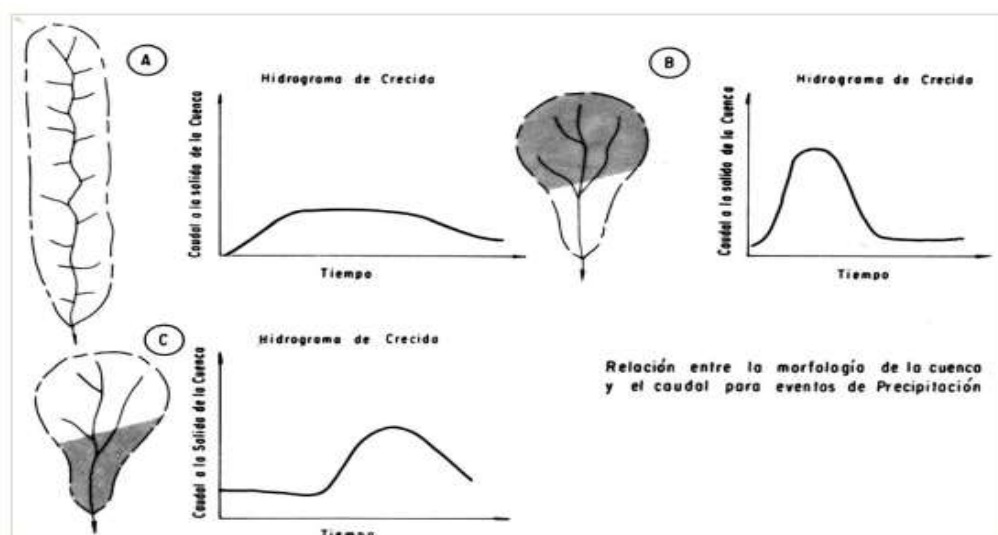
Clasificación por factor de forma

Factor de forma	Característica
Menor a 1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
Mayor a 1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

Nota. Clasificación de las cuencas a partir de los valores de factor de forma. (Monsalve, 1999)

Figura 10

Forma de cuencas relacionado a su hidrograma



Nota. Relaciones generalizadas para la relación de la forma de la cuenca con los hidrogramas de crecidas de cada una. (Consorcio Pomca Quindío, 2014)

➤ Sistema de drenaje

Densidad de drenaje (D_d): Relación entre los valores de longitud de los cursos de agua que componen la cuenca y el valor del área total que compone la cuenca.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

De la expresión se sabe:

L = Longitud de las corrientes de agua (km)

A = Área de la cuenca (km²)

➤ **Extensión media de la escorrentía superficial**

Esta característica se define a partir de los valores de distancia en que el agua precipitada pasa un proceso de escurrimiento sobre un área que se encuentre en la superficie de la cuenca de interés. Este modelo se idealiza a partir del caso de que la escorrentía se genere en una línea recta desde el punto donde cayó la lluvia hasta el punto más cercano que se encuentre dentro de una corriente de la cuenca, el concepto se puede expresar matemáticamente a partir de la siguiente expresión matemática:

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

De la expresión se sabe:

l = Extensión media de escorrentía superficial (km)

L = Longitud total de las corrientes de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

➤ **Sinuosidad de la corriente de agua**

Parámetro que se caracteriza a partir del coeficiente entre la longitud del río principal estimado a partir de su cauce con el valor de longitud del margen en curva o línea recta, este valor se puede expresar a partir de la siguiente expresión matemática:

$$S = L/L_t$$

Figura 11

Sinuosidad de un cauce de agua



Nota. Gráfico idealizado para la estimación de la sinuosidad de un cauce de agua.

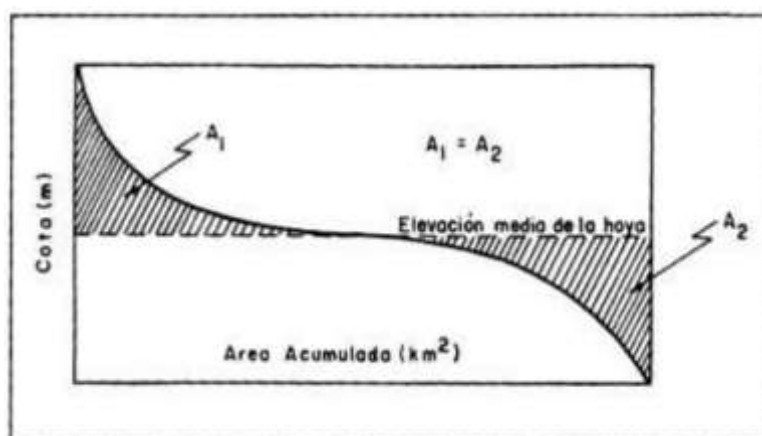
(Monsalve, 1999)

➤ Curva hipsométrica

Esta gráfica presenta los valores de relieve de una determinada cuenca, con ello se puede presentar las relaciones que existen entre las elevaciones de diferentes áreas de la cuenca de interés, los valores de variación se pueden indicar a través de una gráfica que evidencie el porcentaje del área de la cuenca que se posiciona sobre o por debajo de las elevaciones. La gráfica de la curva hipsométrica directamente relaciona los valores de la cota con los porcentajes de áreas acumuladas. Este tipo de curvas facilitan la caracterización fisiográfica de la cuenca.

Figura 12

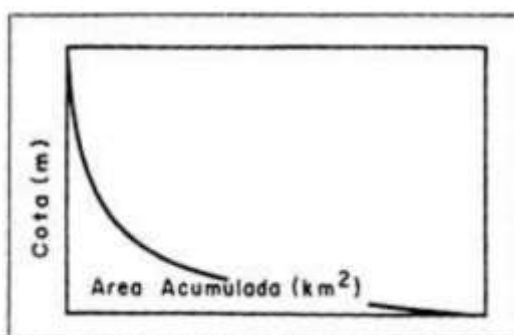
Curva hipsométrica



Nota. Generalización de una curva hipsométrica para una cuenca determinada.
(Monsalve, 1999)

Figura 13

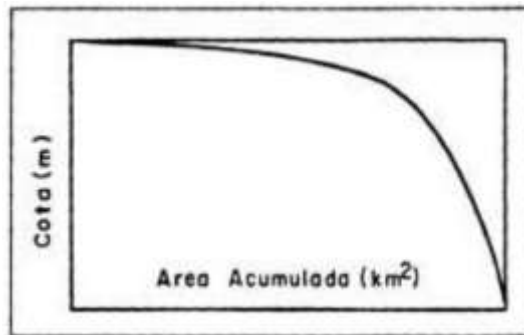
Curva hipsométrica tipo 1



Nota. Curva hipsométrica característica de cuencas con valles extensos y cumbres escarpadas. (Monsalve, 1999)

Figura 14

Curva hipsométrica tipo 2



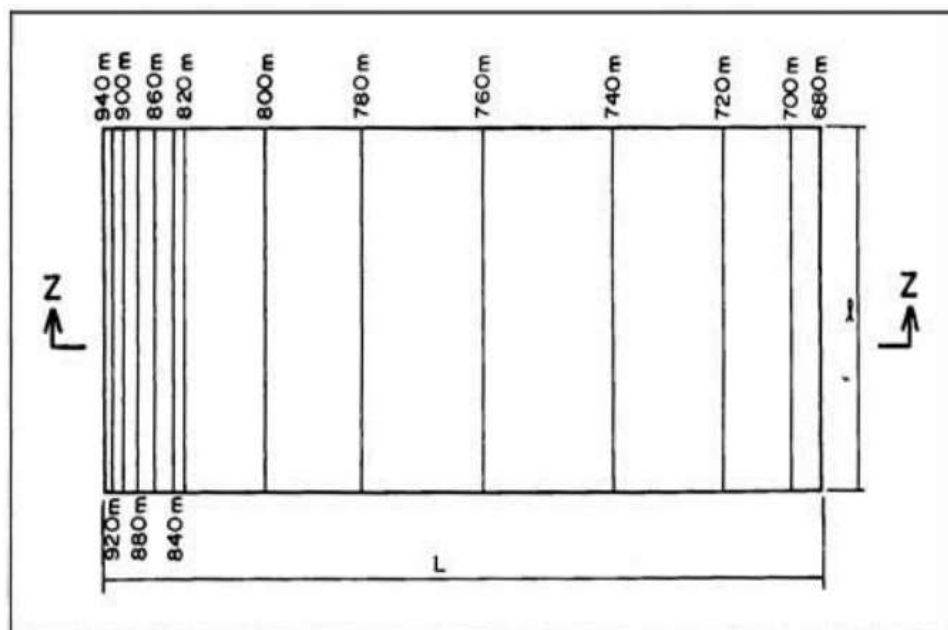
Nota. Curva hipsométrica característica de cuenca con valles profundos y sabanas planas. (Monsalve, 1999)

➤ **Rectángulo equivalente**

Esta característica se establece con la finalidad de hacer comparaciones entre las características de la cuenca sobre la esorrentía generada en la zona. Esta gráfica se caracteriza por la similitud entre la distribución de las alturas de la curva hipsométrica estimadas para la cuenca.

Figura 15

Rectángulo equivalente



Nota. Esquema de un rectángulo equivalente para una cuenca determinada. (Monsalve, 1999)

De las características del rectángulo equivalente se puede evidenciar que las curvas de nivel están distanciadas de manera proporcional a las áreas que diferencian a las curvas de nivel de la cuenca hidrográfica. De la figura se presenta que para el corte ZZ corresponde de manera precisa a la curva hipsométrica determinada con anterioridad.

2.2.3. PRECIPITACIONES

Se define como precipitación a toda forma de humedad que se origina en las nubes y llega por entorno a caer al suelo, con esta definición se pueden clasificar a las precipitaciones como:

- Nevadas
- Garúas
- Granizadas
- Lluvias

A partir de la perspectiva de la hidrología se puede establecer que las precipitaciones son fuentes básicas de agua en la superficie terrestre, y con su investigación se parte a los estudios de usos del agua y su respectivo control.

➤ Génesis de la precipitación

Generalmente una nube se compone por minúsculas gotas de agua las cuales se mantienen en un estado estable debido a sus pequeñas dimensiones, generalmente este tipo de gotas presentan las siguientes características:

- Diámetro aproximado de 0.02 mm
- Distancia entre gotas de 1 mm
- Valor de masa 0.5 a 1 g/cm³

Sin embargo, las gotas que se generan en una lluvia presentan un diámetro aproximado entre 0.50 a 2.00 mm, dicho de otra forma, se genera un aumento considerable en cuanto al volumen de agua, con ello

se pueden establecer que las precipitaciones se generan a partir de 2 fenómenos:

- Agrupamiento de gran cantidad de gotitas
- Ensanchamiento de gotas causadas a partir de fusión y condensación de otras gotas.

➤ **Formas de precipitación**

De la identificación de las formas de lluvias se pudo clasificar de la siguiente forma:

Llovizna: Gotas de agua pequeñas con diámetro variable entre 0.1 a 0.5 mm, generalmente presenta velocidades de caída bajas.

Lluvia: Se compone generalmente por gotas con un diámetro que supera a los 0.5 mm de diámetro.

Escarcha: Se caracteriza por componerse a partir de una capa de hielo transparente y suave, generalmente este tipo de precipitación presenta bolsas de aire en su composición.

Nieve: Se compone generalmente por estructuras de cristales, generalmente presentan una forma compleja.

Granizo: Este tipo de precipitación se caracteriza por la forma de bolas o formas con poca regularidad de hielo, este tipo de precipitación generalmente se generan a partir de nubes convectivas, con formas esféricas generalmente con un diámetro de entre 5 y 125 mm.

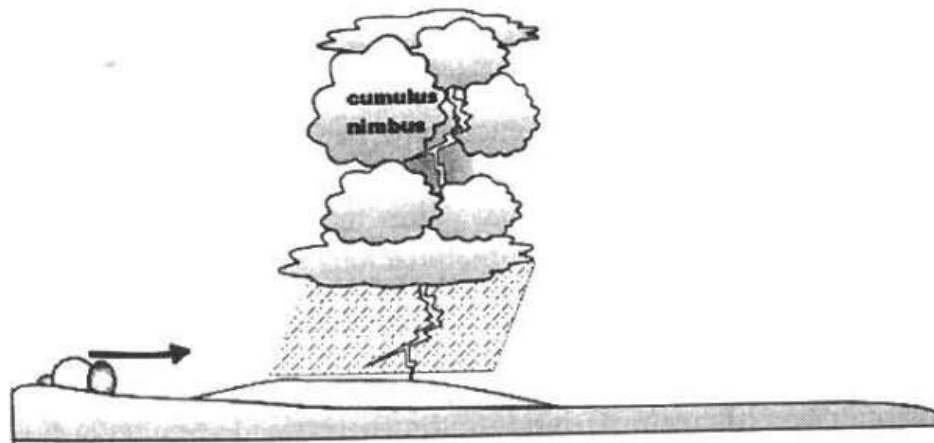
➤ **Tipos de precipitación**

Para dar paso a una precipitación se requieren de la elevación de una masa de agua en la zona atmosférica, a tal punto de que esa masa baje sus temperaturas y parte de la humedad que contiene se condense. A partir de ello dado a los factores que provocan el ascenso de la masa hacia la atmosfera las precipitaciones se pueden clasificar de la siguiente manera:

Por convección: En temporadas de alto calor se generan grandes evaporaciones de agua, que a causa de sus altas temperaturas se elevan ocasionando un enfriamiento relacionado directamente con la adiabática húmeda o seca. En el transcurso de su elevación, disminuyen su temperatura según sean las características de las adiabáticas. Este tipo de lluvias generalmente se acompañan de rayos y truenos.

Figura 16

Precipitación por convección

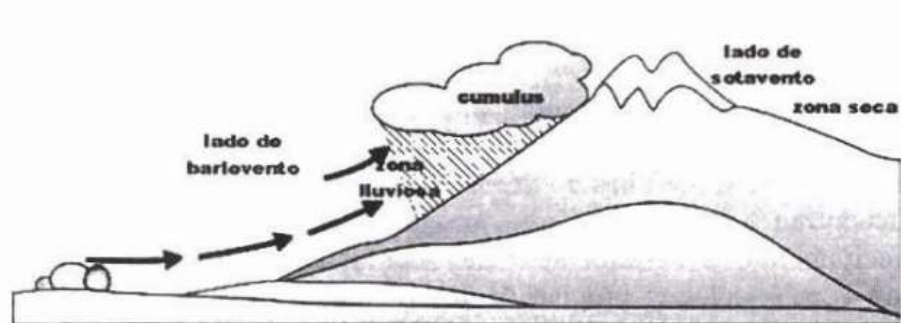


Nota. Esquema idealizado de las precipitaciones por convección. (Villón, 2004)

Orográfica: Este tipo de precipitación se origina a partir de la elevación de las nubes por efecto de la acción del aire que las conduce a lo largo de las laderas de montaña hasta llegar al punto adecuado para generar la condensación de las nubes y ocasionar la precipitación.

Figura 17

Precipitación orográfica

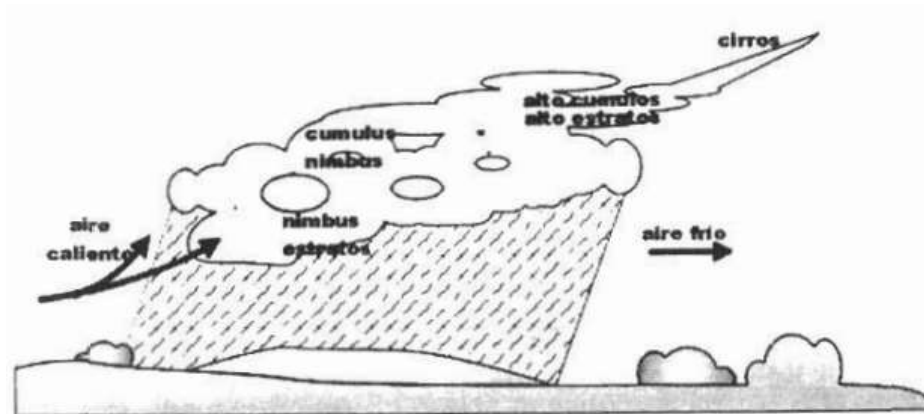


Nota. Esquema generalizado para la génesis de precipitaciones orográficas. (Villón, 2004)

Ciclónica: Este tipo de precipitaciones se genera a partir de la colisión entre 2 masas de aire con temperaturas y condiciones de humedad distintas, las nubes con altas temperaturas en comparación con las otras son empujadas hacia las partes altas, zona en la cual las condiciones para la condensación son adecuadas y a partir de ello se genera la precipitación, este tipo de precipitaciones están ligadas a los eventos de ciclones o zonas de baja presión.

Figura 18

Precipitación ciclónica



Nota. Esquema generalizado para las precipitaciones ciclónicas.

➤ Medición de las precipitaciones

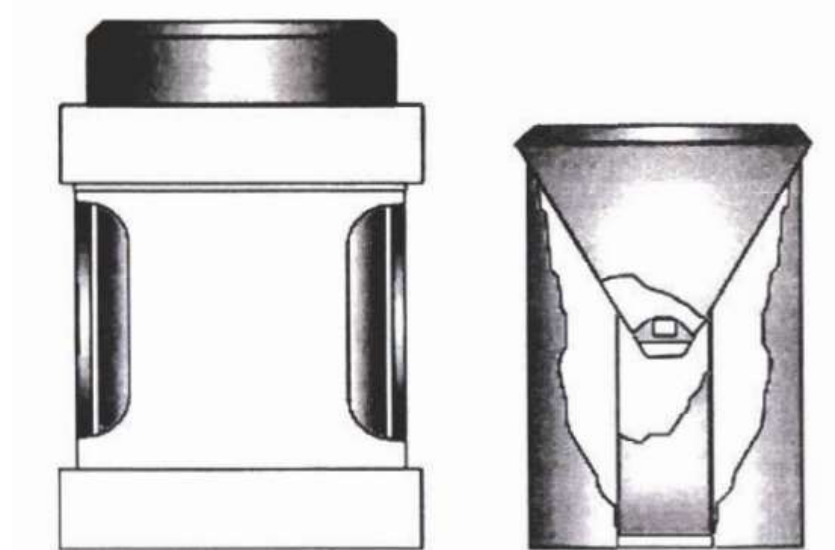
Los valores de precipitación generalmente se miden a partir de láminas de agua y expresada en unidades milimétricas. Los valores de altura de lámina de agua pueden indicar la altura de agua que se acumularía en una determinada zona de superficie horizontal si la lluvia permaneciera en el punto donde cayó. Las herramientas de medición se logran clasificar a partir de los registros de precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos. (Villón, 2004)

Pluviómetro: Esta herramienta se basa en un recipiente de forma cilíndrica con un diámetro aproximado de 20 cm con 60 cm de alto. La tapa del cilindro se compone por un cono receptor es cual está conectada con una probeta con sección 10 veces menor que la tapa. Para el caso de que se requiera saber los valores de pluviometría

mensual o estacional en una zona que presenta difícil acceso se hacen uso de los pluviómetros totalizadores. Este tipo de pluviómetros hacen uso de químicos anticongelantes y aceites para evitar su congelamiento o evaporación de la muestra y así no alterar la lectura.

Figura 19

Esquema pluviómetro

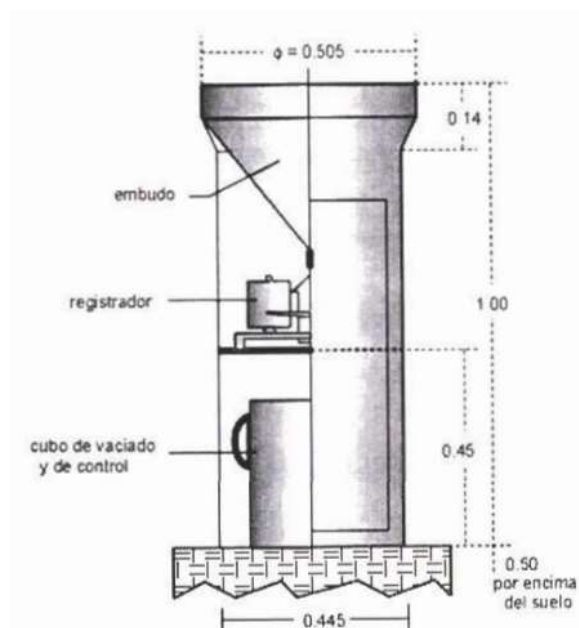


Nota. Dibujo del esquema generalizado de un pluviómetro. (Villón, 2004)

Pluviógrafo: Esta herramienta registra los valores de lluvia en función del tiempo estos valores permiten calcular los valores de intensidad de precipitación y a partir de ello llegar a estimar diseño de estructuras hidráulicas. Generalmente los pluviógrafos presentan una forma cilíndrica con un embudo receptor el cual se liga a un sistema de elementos flotadores los cuales generan un movimiento de aguja sobre un papel que registra a partir de los sistemas de reloj. Las gráficas generadas toman el nombre de pluviograma.

Figura 20

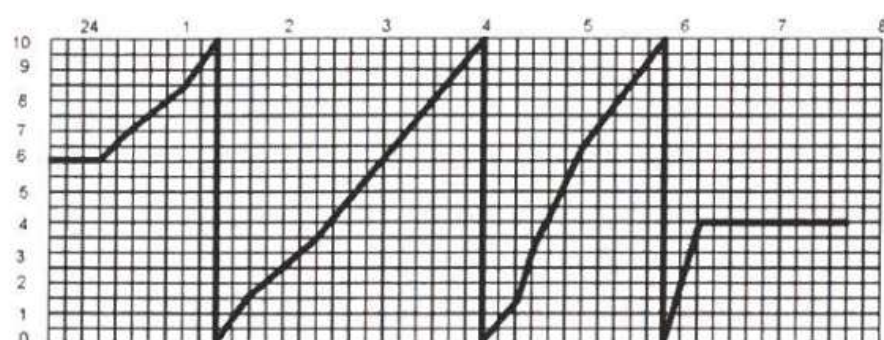
Esquema de pluviógrafo



Nota. Esquema generalizado de un pluviógrafo. (Villón, 2004)

Figura 21

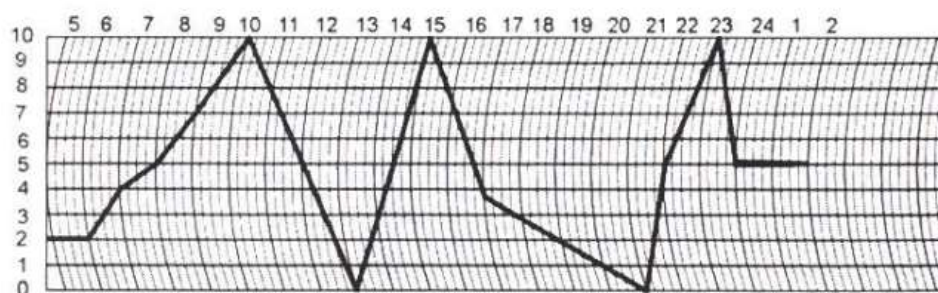
Pluviograma tipo 1



Nota. Pluviograma de registro cuando la aguja asciende. (Villón, 2004)

Figura 22

Pluviograma tipo 2



Nota. Pluviograma de registro cuando la aguja asciende y desciende. (Villón, 2004)

➤ **Estimación de precipitación media sobre un área**

Los valores de precipitación que se da en una zona determinada son diferentes a los valores de precipitación que cae a los alrededores aun así sean zonas cercanas a la estación. En general los pluviómetros registran los valores de lluvia en un punto específico en la que se instaló la herramienta. Los valores de precipitación media se requieren para elaborar modelos hidráulicos de diseño con lo cual se plantean los valores de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual.

En la estimación de los valores de precipitación media en una tormenta o los valores de precipitación media anual para ello existen las siguientes metodologías.

Promedio aritmético: Esta metodología se basa en la obtención de los valores a partir de un promedio aritmético de las alturas de las precipitaciones que se registran a partir de las estaciones que se localizan dentro de la zona de interés. Este método se puede expresar a partir de la siguiente fórmula matemática.

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

De la expresión se sabe:

P_{med} = Precipitación media en la cuenca

P_i = Precipitación de la estación i

n = # de estaciones de la cuenca

El valor de precisión de esta metodología depende netamente de la cantidad de estaciones con la que cuente la cuenca y de la localización de cada una de ellas, si bien este tipo de metodología es la más simple de aplicar la confiabilidad de la metodología se basa dependiendo de la cantidad de estaciones dentro de la cuenca.

Polígono de Thiessen: Esta metodología se basa en la localización de las estaciones debido a que para su aplicación es

necesaria delimitar la zona de influencia para cada una de las estaciones sobre el área de la cuenca. De los valores de precipitación media en la zona de interés se estima a partir del promedio pesado para cada una de las estaciones usando como uno de los pesos el área de influencia que corresponde a cada una de las estaciones.

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

De la expresión se sabe:

P_{med} = Precipitación media en la cuenca

A_T = Área total de la cuenca

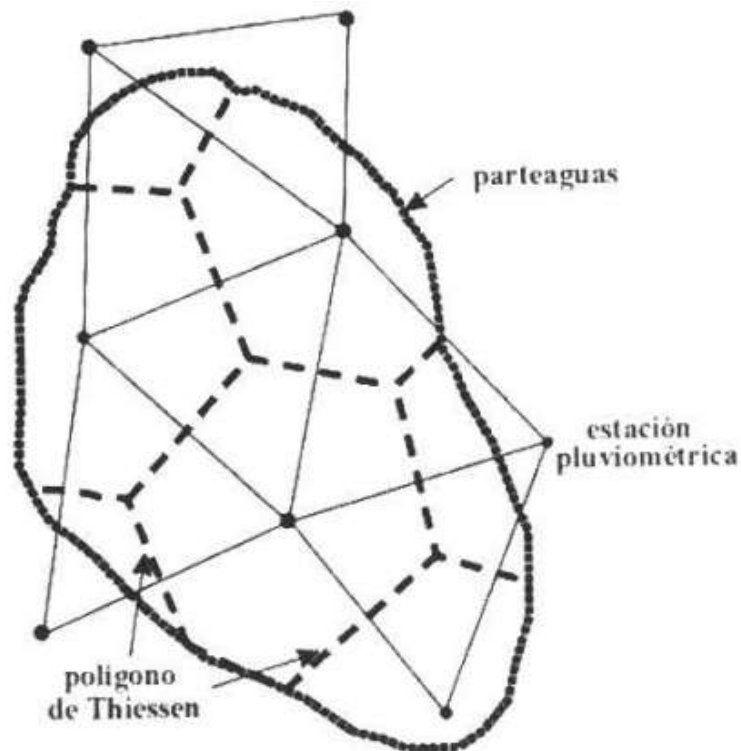
A_i = Área de influencia parcial del polígono de la estación i

P_i = Precipitación de la estación i

n = # de estaciones de la cuenca

Figura 23

Metodología de los polígonos de Thiessen



Nota. Esquema idealizado para los polígonos de Thiessen. (Villón, 2004)

Isoyetas: Para la metodología se requiere un plano de isoyetas de la zona estimado a partir de las precipitaciones registradas en la zona.

Las líneas de isoyetas son curvas que unen puntos con un mismo valor de precipitación registrado. La metodología es una de las más precisas, pero se requiere de criterios para el trazado de las isoyetas ya que estos se trazan de manera similar a la de las curvas de nivel de la zona. Si se requiere de una alta fidelidad de los valores estimados es necesario contar con más estaciones dentro de la cuenca. Los valores de precipitación media a partir de la metodología de las isoyetas se pueden representar con la siguiente expresión matemática:

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

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

De la expresión se sabe:

P_{med} = Precipitación media en la cuenca

A_T = Área total de la cuenca

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i

n = # de estaciones de la cuenca

Método de Kriging: Esta metodología se basa en la estimación de datos basado en un modelo continuo de variación espacial estocástica, sabiendo la forma en que las propiedades de la información varían de acuerdo al modelo del variograma. La metodología se basa en las técnicas de mínimos cuadrados. Para el establecimiento de los factores de un Kriging ordinario se establece que la variable es estacionaria y que no presenta una tendencia definida, se define mediante la ecuación:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s)$$

De la expresión se sabe:

$Z(s)$ = Variable de interés

$\mu(s)$ = Valor constante desconocida

$\varepsilon(s)$ = Errores aleatorios

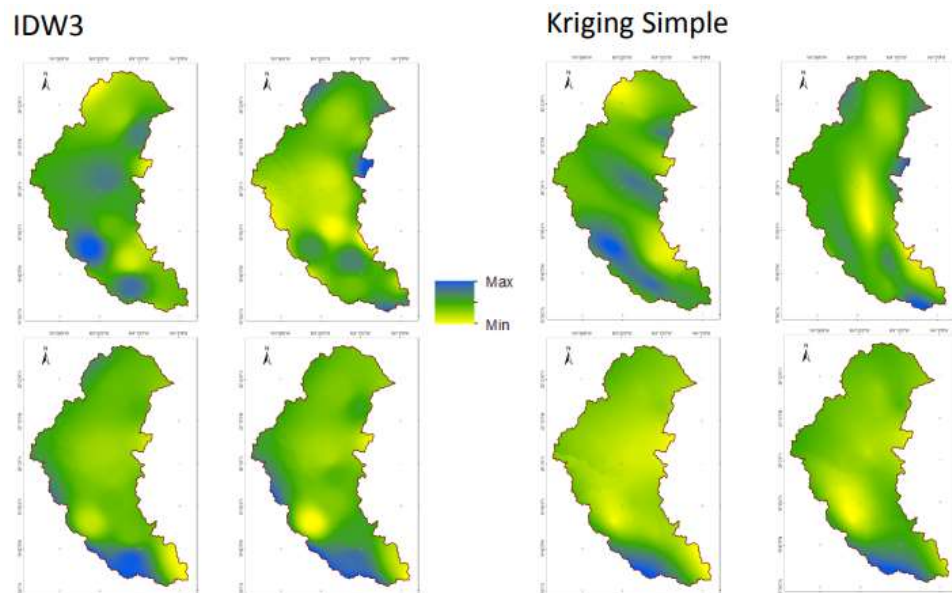
(s) = Indica las coordenadas x e y

Para la metodología Kriging Universal presenta la misma ecuación que el Kriging Ordinario, pero para el caso del $\mu(s)$ se presenta una tendencia de datos. El método de Kriging Simple es similar al tipo ordinario a excepción en que se toman en cuenta los valores medios como una constante conocida y que de la sumatoria de pesos no es igual a la unidad.

Uno de los factores relevantes de la metodología son los indicadores de Kriging el cual es un método de interpolación no lineal, este se emplea a partir de la transformación de los valores $Z(s)$, los cuales son inicialmente continuos a valores binarios, este proceso de transformación se realiza con la finalidad de estimar la probabilidad en que se esté por encima de un valor denominado como umbral. Si bien la metodología no requiere de datos que se ajusten a la normalidad de la serie de datos, las superficies que se generan con la metodología presentan resultados confiables siempre y cuando la serie de datos son estadísticamente normales. (Malo, 2015)

Figura 24

Comp. de resultados entre la metodología IDW3 y Kriging Simple



Nota. De la figura se puede evidenciar las variaciones a las precipitaciones estimadas por 2 metodologías diferentes para una misma serie de datos. (López, 2017)

2.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS

➤ Presentación y análisis de datos

Para una serie de datos estadísticos que estén relacionados a una estación hidrológica es importante tener una metodología de resumen que pueda disminuir la cantidad de valores sintéticos que caracterizan a una estación a partir del análisis pertinente. Con ello lo que se busca es definir una serie n de observaciones de cifras individuales con la regla establecida de $i \leq n$, a partir de los 3 siguientes puntos de análisis:

Valor dominante de la serie

- Media: el valor se define a partir de la siguiente expresión:

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

- Mediana: Se estima este valor que divide a las frecuencias de una distribución de probabilidades en partes iguales, dicho de otra manera, es el valor que ocurre con una probabilidad de 50%. En casos hidrológicos los valores de mediana son muchas veces la media más conveniente porque no se ve influenciada por los valores extremos.
- Moda: Valor que se genera con mayor frecuencia en una distribución de probabilidades.

Dispersión a partir del valor central

- Desviación estándar

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

- Varianza

$$Var = S^2$$

- Rango: Valor de la diferencia entre el mayor y menor valor de la serie de datos.
- Coeficiente de variación

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

Característica de forma

Se define esta característica a partir de los valores del coeficiente de oblicuidad, dicho valor caracteriza la simetría de la distribución.

$$C_s = \frac{a}{S^2}$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3$$

Tabla 3

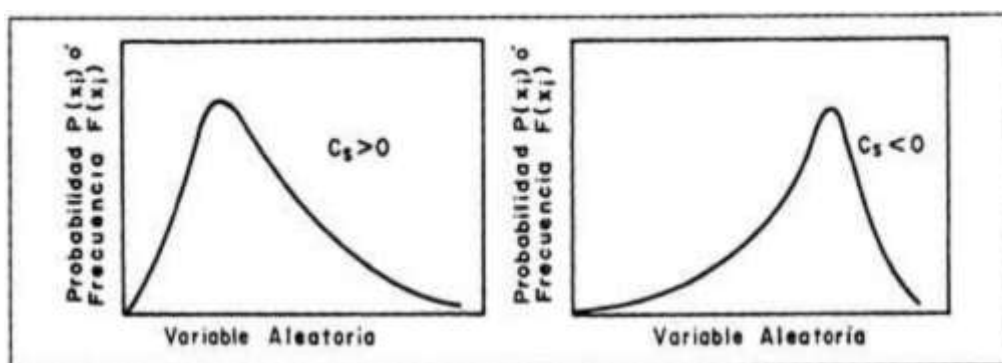
Valores de coeficiente de forma estadística

Valor de C_s	Característica
Igual a 0	Distribución simétrica
Mayor a 0	Distribución oblicua a la derecha
Menor a 0	Distribución oblicua a la izquierda

Nota. Valores característicos para la definición de la oblicuidad. (Monsalve, 1999)

Figura 25

Representación de oblicuidad de una distribución



Nota. Representación generalizada de la distribución de variables. (Monsalve, 1999)

➤ Distribuciones de probabilidad en hidrología

Normal o Gauss: Dicha distribución se puede representar a partir de la siguiente expresión matemática:

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

Log-Normal: Dicha distribución se puede representar a partir de la siguiente expresión matemática:

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

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}$$

$$C_s = \frac{a}{S_y^3}$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3$$

Gumbel: Dicha distribución se puede representar a partir de la siguiente expresión matemática:

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

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

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

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

Log-Gumbel: Dicha distribución se puede representar a partir de la siguiente expresión matemática:

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

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

Log-Pearson tipo III: Este tipo de distribución es grandemente utilizada para los datos de lluvias o caudales máximos anuales.

Pearson tipo III: Esta al igual que el anterior se presenta su aplicación en lluvias o caudales anuales.

➤ **Variación de la intensidad y duración**

Los valores registrados de los pluviógrafos los cuales recolectan información de las precipitaciones acumulados a lo largo de los diferentes periodos de tiempo. A partir de las gráficas se puede establecer la información para diversas duraciones los valores de máximas intensidades ocasionadas a lo largo de la lluvia. Generalmente los valores de duración se caracterizan por presentar una distribución de 5, 10, 15, 30, 45 min y 1, 2, 3, 6, 12, 24 hrs. Los límites de la caracterización varían entre los 5 min y 24 hrs. Debido a que lluvias mayores puedan utilizar los valores de datos observados en pluviómetros. (Monsalve, 1999)

➤ **Variaciones de intensidad con la frecuencia**

- ***Series anuales y series parciales***

Si las investigaciones buscan eventos con probabilidades que superen a 0.2 ($T \geq 5$ años), es recomendable estudiar las series parciales. Si se requiere hacer un análisis para una serie menor a 5 años es preferible tratar con series anuales. Los valores de las series parciales se arman a partir de los valores de variables hidrológicas que se consideran sobre algún valor base. Los valores base se seleccionan de manera que no se incluyan más de 3 eventos para cada año.

Tabla 4

Comparación de series anuales y parciales

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
100.00	100.50

Nota. Valores numéricos entre la las series parciales y anuales. (Monsalve, 1999)

- **Relación intensidad – frecuencia**

Las series que se toman en cuenta para la relación de intensidad y frecuencia son las máximas pluviográficas observadas estas pueden ser generadas a partir de valores altos en cada año de investigación, de los n valores mayores que se observaron en el periodo de observación, del cual se sabe n son los números de años del periodo considerado.

- **Relación intensidad – duración – frecuencia**

Para este tipo de relación es importante establecer los parámetros de relación de las lluvias estudiadas de la cual se puedan establecer las ecuaciones y la cantidad de parámetros de esa ecuación a fin de establecer los mejores valores que caracterizan las relaciones. Esta relación se puede expresar de manera matemática de la siguiente manera:

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

De la expresión se sabe:

i = Intensidad de precipitación máxima (mm/hr)

t = Duración de lluvia (min)

t_0 = Constante (min)

C y n = Constantes

C, t_0 y n = Parámetros por estimar

Generalmente los la constante C se relaciona con el periodo de retorno T se puede elaborar la siguiente fórmula:

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

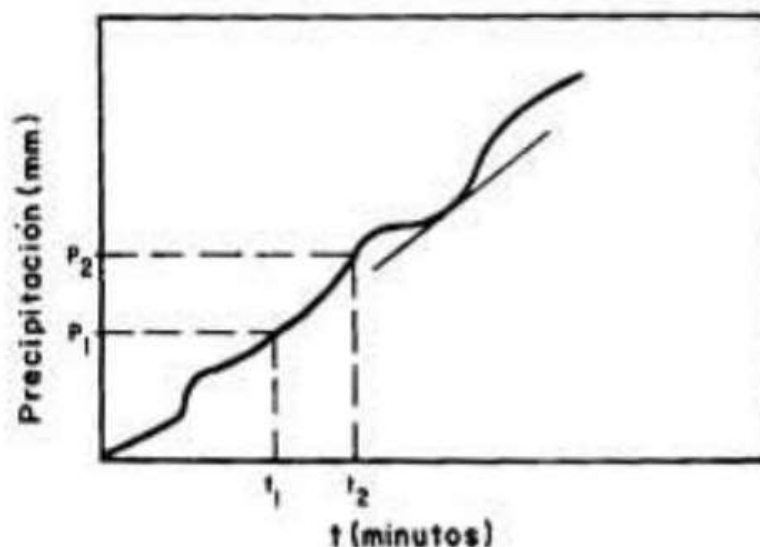
➤ **Estudio de intensidades**

- **Hietogramas**

Los registros que se generan a partir de los pluviógrafos generan como resultado una curva de masa de precipitación o los valores que han caído desde la parte inicial del aguacero.

Figura 26

Curva masa de precipitación



Nota. Gráfica de curva de masa generada a partir de valores de pluviometría.
(Monsalve, 1999)

2.2.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Se sabe que un fenómeno de crecientes se define a partir del incremento grande de los caudales de una corriente en específico. Con esta creciente abrupta de caudales se generan eventos de inundación los cuales pueden ser controlados siempre y cuando haya estructuras de encausamiento que ayuden a mitigar los efectos adversos que se generan. (Monsalve, 1999)

➤ Estimación de crecientes

La estimación de crecientes significa estimar el máximo valor de caudal y si está dentro de las posibilidades estimar el esquema del hidrograma que se forme de la creciente, un hidrograma se puede definir como la distribución de los valores de caudal en un determinado periodo de tiempo desde el inicio de la creciente de escorrentía superficial hasta que termine su proceso.

➤ **Pronóstico de crecientes**

La estimación de los cálculos de crecientes en un determinado periodo de retorno se puede elaborar a partir de una extrapolación de los datos históricos para una serie de condiciones definidas como críticas. Para establecer un pronóstico de crecienta se tiene que conocer una serie histórica que comprenda n años, con el cual se pretenda determinar el valor de caudal para m años en periodo de retorno, estableciendo la relación de $m > n$.

➤ **Periodo de retorno**

Se define como promedio de retorno al valor promedio en años en el que un caudal máximo de una crecienta es específico es igualada o superada al menos una vez. Para la determinación del periodo de retorno se tiene en cuenta:

- Criterios económicos
- Criterios usuales
- Criterio de riesgo

➤ **Estimación de crecientes a partir de datos de lluvia**

Los valores de caudales pronosticados se pueden realizar de las siguientes maneras:

○ Hidrograma Unitario

Este tipo de metodología se basa en la estimación de la lluvia neta crítica que cae sobre la cuenca, con ello se pueden estimar los valores de intensidad de lluvia con una determinada duración en la cual se genere una esorrentía máxima, generalmente el tiempo en que se genera es el mismo que presenta la cuenca en el tiempo de concentración. Con la información que se recolecta para el modelo se logra estimar la forma del hidrograma unitario y con ello esbozar el hidrograma de crecienta de esorrentía superficial el cual corresponde a lluvia dada. Cabe resaltar que cada lluvia presenta un

periodo de retorno el cual se supone en igualdad con el periodo de retorno de la creciente.

- Fórmula Racional

Fórmula General: Para este método se establece la siguiente ecuación:

$$Q = Ci_m A$$

Del cual se sabe que Q es el valor del caudal pico de escorrentía en la superficie causado por una lluvia total con intensidad media i_m , encima de una cuenca con un área A y teniendo en cuenta el valor del coeficiente de escorrentía C que caracteriza a la zona de interés.

➤ **Estimación de crecientes a partir de fórmulas empíricas**

La aplicación de las fórmulas empíricas se recomienda solo cuando no se cuenten con las condiciones de aplicación de otra metodología más precisa ya mencionada.

- Fórmula de Burkli-Ziegler

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

De la expresión se sabe:

Q = Caudal pico de creciente

M = Área de drenaje en ha

R = Intensidad media durante la lluvia crítica

S = Pendiente promedio de la cuenca

C = Coeficiente variable de acuerdo a la naturaleza de la superficie drenada.

Tabla 5

Valores de C para Burkli-Ziegler

Tipo de superficie	C
Calle pavimentada 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

Nota. Valores característicos del coeficiente C para la fórmula. (Monsalve, 1999)

- Fórmula de Kresnik

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

De la expresión se sabe:

Q = Caudal pico

A = Área de drenaje km²

α = Coeficiente de variación entre 0.03 a 1.61

- Fórmula de Creager

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

De la expresión se sabe:

Q = Causal pico de la creciente

A = Área de drenaje

C = Coeficiente

- Fórmula de Baird y McIlwrsith

$$Q = \frac{121000A}{(107 + A)^{0.78}}$$

De la expresión se sabe:

Q = Caudal pico de la creciente

A = Área de drenaje

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Altura de precipitación diaria: “Es la suma de las lecturas observadas en un día”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media diaria: “Es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación mensual: “Es la suma de las lecturas diarias, ocurridas en un mes”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media mensual: “Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondiente a un cierto número de meses”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación anual: “Es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media anual: “Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años”. (Villón, 2004)

Escorrentía: “Volumen de agua que pasa por una sección de un río o corriente durante un período de tiempo. El período de tiempo generalmente usado es de un mes o un año”. (Aparicio, 2002)

Caudal: “Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Curva intensidad – duración – frecuencia: “Es un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

HEC-HMS: “Sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), que permite simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

Tiempo de concentración: “Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

2.4. HIPÓTESIS

La aplicación de la metodología de interpolación de precipitación, específicamente mediante las técnicas de Kriging y Thiessen, permite inferir que la precisión de la interpolación es superior cuando se emplea la metodología de Kriging.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Precisión de interpolación.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Métodos de interpolación de precipitación Kriging y Thiessen.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 6

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTUAL	DEFINICIONES OPERACIONALES	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Métodos de interpolación de precipitación Kriging y Thiessen	La técnica utilizada para estimar los valores de precipitación en ubicaciones no muestreadas en función de los datos de precipitación medidos en ubicaciones cercanas.	Variable que se puede establecer con las metodologías de "Kriging" y "Thiessen".	Independiente	Método de Kriging Método de Thiessen	Distancias Precisión Validez Sensibilidad Distancias Precisión Validez Sensibilidad
Precisión de interpolación	La capacidad de la técnica de interpolación de precipitación para proporcionar valores precisos de precipitación en ubicaciones no muestreadas.	Variable numérica continua que representa el error de interpolación de precipitación en mm o pulgadas. Cuanto menor sea el valor, mayor será la precisión.	Dependiente	Metodología Precisión Validez	Métodos de interpolación Variación de error Datos de precipitación recolectada

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

Se define una investigación con un enfoque cuantitativo a las que presentan características de aplicación estadística y con una medición de fenómenos de interés. (Hernández, 2014)

Planteando así que la investigación tiene un enfoque **cuantitativo** de acuerdo con las características que se presentan.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

De acuerdo con la definición un alcance correlacional se basa a partir de la revisión bibliográfica y al planteamiento de los objetivos como una asociación de variables y conceptos los cuales permitirán la elaboración de predicciones. (Hernández, 2014)

Planteando así que la investigación tiene un alcance **correlacional** de acuerdo con las características que se presentan.

3.1.3. DISEÑO

De acuerdo con la definición una investigación con diseño no experimental analiza los cambios que se presentan a lo largo de un determinado tiempo a partir de análisis de tendencias y diseños evolutivos. (Hernández, 2014)

Planteando así que la investigación tiene un diseño **no experimental** de acuerdo con las características que se presentan.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Una población se refiere al grupo completo de individuos, objetos, eventos o fenómenos que comparten ciertas características o atributos específicos que son relevantes para la investigación en cuestión. (Hernández, 2014)

Se plantea para la investigación que la población son las 370 estaciones meteorológicas con las que cuenta el Perú.

3.2.2. MUESTRA

Una muestra se refiere a un subconjunto representativo de la población que se selecciona para ser estudiado con el objetivo de obtener información y conclusiones relevantes sobre la población completa. (Hernández, 2014)

Se plantea para la investigación que la muestra son 10 estaciones las cuales se encuentran en las cercanías de la cuenca de interés.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS

➤ Metodologías de Estimación de Precipitaciones

Esta investigación se basó en 2 enfoques específicos: Kriging y Thiessen. Kriging, una técnica de interpolación espacial basada en la estadística espacial utiliza un modelo variográfico para estimar valores de precipitación en ubicaciones no muestreadas, aprovechando la correlación espacial entre los puntos de datos existentes. Por otro lado, Thiessen, también conocido como polígonos de Thiessen, divide el área de estudio en regiones poligonales asignando cada región a la estación meteorológica más cercana y estimando los valores de precipitación asumiendo una influencia uniforme dentro de cada área de influencia. Ambas metodologías ofrecieron herramientas valiosas para la

estimación espacial de precipitaciones en la cuenca del río Huallaga, permitiendo una comprensión detallada de los patrones de precipitación en la región de interés.

➤ **Análisis Numérico y Estadístico**

Se implicó la utilización de fichas de recolección de precipitaciones como una herramienta fundamental. Estas fichas, diseñadas para registrar datos de precipitación en ubicaciones específicas de la cuenca del río Huallaga, contenían información detallada sobre la cantidad de precipitación medida en cada evento. La fase de análisis numérico involucró el procesamiento de los datos recolectados mediante técnicas estadísticas, como el cálculo de promedios, sumatorias y varianzas. Estos cálculos proporcionaron una visión general de las tendencias de precipitación en la cuenca. Sin embargo, durante este análisis, fue crucial aplicar la prueba de outliers para identificar y evaluar la presencia de datos atípicos o extremos que podrían haber distorsionado los resultados. La prueba de outliers permitió destacar valores inusuales que podría haberse debido a errores de medición o eventos climáticos excepcionales. En resumen, la técnica de análisis numérico y estadístico se basó en la recolección pasada de datos de precipitación a través de fichas específicas y en la aplicación posterior de herramientas estadísticas para comprender las características y variaciones en los patrones de precipitación. La inclusión de la prueba de outliers fortaleció la robustez del análisis al identificar y tratar valores anómalos que podrían haber afectado la interpretación correcta de los resultados.

➤ **Ajuste de Parámetros**

Durante la aplicación de esta técnica, se llevó a cabo un análisis que implica el ajuste de parámetros en los modelos hidrológicos, considerando los datos de caudales registrados en las fichas. El objetivo fue optimizar los parámetros del modelo para que la simulación resultante se ajuste de manera más precisa a los caudales observados. Este ajuste se realizó teniendo en cuenta el error estimado, que es una

medida de la discrepancia entre los caudales simulados y los caudales observados.

➤ **Análisis Espacial**

Durante la aplicación de esta técnica, se llevó a cabo un análisis que consideró la disposición geoespacial de elementos como pendientes, tipos de suelo, cobertura vegetal y otros factores relevantes. El objetivo fue identificar patrones, correlaciones o anomalías espaciales que pudieran tener implicaciones en los procesos hidrológicos de la cuenca. Herramientas como Sistemas de Información Geográfica (SIG) fueron empleadas para visualizar y analizar estos datos de manera más eficiente, facilitando la identificación de relaciones espaciales.

3.3.2. INSTRUMENTOS

➤ **Instrumentos de Medición Hidrológica**

Tabla 7

Ficha de ubicación de estaciones pluviométricas

UBICACIÓN DE ESTACIONES			
NOMBRE	NORTE	ESTE	ALTITUD
MAYORARCA			
RICRAN			
CARHUACAYAN			
OYÓN			
MILPO			
TINGO MARÍA			
TULUMAYO			
SAN RAFAEL			
CANCHÁN			
HUÁNUCO			

Para la elaboración de la caracterización hidrológica de la cuenca se requirió la identificación de las estaciones cercanas a la cuenca, con dicha información se completó la ficha anterior.

Tabla 8

Ficha de registros históricos

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ												
(SENAMHI)												
NORT E	EST E					ALTITU D						
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN												
AÑO	EN E	FE B	MA R	ABR	MA Y	JU N	JU L	AG O	SET	OC T	NO V	DI C
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
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												
2014												

Los valores de registro de lluvias obtenidos del SENAMHI, fueron reordenados y clasificados de acuerdo a la ficha precedente, esta caracterización es importante para la identificación de valores de registro faltantes en la serie de datos, con esto se identificaron los meses que requieren de una interpolación por los métodos planteados.

Tabla 9*Ficha de precipitaciones por periodos de retorno*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS	
PERIODO DE RETORNO	PP
2	
5	
10	
25	
50	
100	
105	
500	
1000	
10000	

Con la caracterización de las series de distribución se pudo determinar los valores de precipitación que afectan al centroide de la cuenca en diferentes periodos de retorno.

Tabla 10*Ficha de precipitaciones ajustadas*

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

Los valores proyectados de precipitación fueron sometidos a un ajuste por el factor de seguridad de 1.13, con este valor ajustado se determinaron los valores de intensidad.

Tabla 11

Ficha de intensidades

TORMENTA DE DISEÑO							
PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN DE TORMENTA			INTENSIDAD DE LLUVIA		P24hr (mm)	
INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
110							
120							
130							
140							
150							
160							
170							
180							

Los valores de intensidad fueron determinados a partir de la metodología de los bloques alternos, esto se determinó a partir del cálculo de la curva de intensidad característica de la cuenca.

Tabla 12

Ficha de caudales

CAUDAL CALCULADO		
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL

Los valores de intensidad determinados por el bloque alterno fueron aplicados en el software HEC-HMS con la aplicación de la metodología del número de curva se logró determinar los valores de caudal para cada uno de los métodos planteados.

Tabla 13

Ficha de estimación de caudales

CAUDAL DE AFORO DE CAUCE			
ITEM	Vprom	Área	Q
1			
2			
3			
4			
5			
PROMEDIO			

La estimación de caudales por aforado en el cauce completó la ficha anterior teniendo en cuenta los valores de velocidad y el área de la sección estimada.

➤ Instrumentos para Análisis Numérico y Estadístico

Tabla 14

Ficha de valores máximos

REGISTRO INTERPOLADO DE LLUVIAS		
MÉTODO DE KRIGING		
NORTE		
ESTE		
ALTITUD		
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN INTERPOLADA		
AÑO	MAX	LOG(MAX)
1996		
1997		

1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
Cant. Datos
Sumatoria
Val. Máx
Val. Mín
Media
Varianza
Desv. Estánd.
Coef. Variac.
Coef. Sesgo
Considerar

Los valores de precipitación máxima estimada para el centroide de la cueca fueron sometidos a la caracterización estadística, con lo cual se estimaron los valores de media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y el coeficiente de sesgo que caracteriza a la serie de datos.

Tabla 15

Ficha de prueba de valores anómalos

Kn
xH
xL
Pmáx
Pmín
Límite inferior
Límite superior

Los valores de precipitación máxima fueron sometidos a una prueba de datos anómalos con la cual se estimaron los valores extremos que son aceptados dentro de la serie, esto se realizó con la finalidad de identificar los años en donde el valor de la precipitación es anómalo.

Tabla 16*Ficha de pruebas de distribución*

PRUEBA DE BONDAD-MÉTODO KRIGING		
PRUEBA	DELTA TEÓRICO	DELTA TABULAR
Normal		
Log-Normal 2P		
Log-Normal 3P		
Gamma 2P		
Gamma 3P		
Log-Pearson T-III		
Gumbel		
Log-Gumbel		
Método		

La serie de lluvia máxima fue ajustada a partir de una distribución estadística que caracterice a la serie de datos, para esto se identificó un total de 8 distribuciones, se identificaron los valores de delta que son las variaciones y quien presente menor delta será el que mejor se ajuste a la serie de datos de interés.

➤ **Instrumentos para Ajuste de Parámetro**

Tabla 17*Ficha de Valores de caudales*

COMPARACIÓN DE CAUDALES		
MÉTODO	CAUDAL KRIGING (m ³ /s)	CAUDAL THIESSEN (m ³ /s)
SCS NC		
RACIONAL		
AFORO		

El ajuste de los valores y la comparación en variaciones se elaboró a partir de la identificación de cada uno de los valores de caudal estimados por los diferentes métodos de estimación presentados en la ficha anterior.

Tabla 18*Ficha de comparación de resultados*

COMPARACIÓN DE CAUDALES		
MÉTODO	CAUDAL KRIGING (m ³ /s)	CAUDAL THIESSEN (m ³ /s)
SCS NC		
(% Variac)		

Los valores de caudal fueron comprados con los valores determinados por el aforo en el cauce y con ellos se estimaron los porcentajes de variabilidad de cada uno de los métodos como se muestra en la ficha anterior.

➤ Instrumentos de Análisis Espacial

Tabla 19

Ficha de punto de aforo de cuenca

Descripción	Punto de Aforo		Sistema
	Norte	Este	
Aforo			

La caracterización de la cuenca requiere de la identificación del punto de aforo con el cual se delimiten los cauces contribuyentes, dicho punto fue caracterizado en la ficha anterior.

Tabla 20

Ficha de parámetros Geomorfológicos de la cuenca

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

La información determinada en el software ArcMap fue identificada en la ficha anterior con el fin de caracterizar de manera numérica a la cuenca y identificar los parámetros que caracterizan a la cuenca.

Tabla 21

Ficha de índices característicos de la cuenca

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

La caracterización geométrica de la cuenca y los valores de geomorfología sirvieron para identificar los valores de parámetros característicos de la cuenca con el cual identificar su comportamiento a nivel general.

Tabla 22

Ficha de número de curva

Número de Curva		
Rango	Promedio	Área
CN		

Los valores de caracterización del número de curva se estimaron a partir de la recolección de información geoespacial de los servidores del ministerio del ambiente.

Nota. Con el punto de aforo identificado y las imágenes de elevación digital recolectadas se logró identificar los límites de la cuenca, estimándose así los parámetros geomorfológicos de la cuenca, de la figura se puede identificar que la cuenca se encuentra entre los valores altitudinales de 2101 a 4925 msnm, teniendo así pues una altura variable como se identifica en la figura presentada.

Tabla 24

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca

Datos de la cuenca		
Geometría		
Área	Km ²	1555.61
Perímetro	km	309.475
Ancho	km	33.92
Largo	km	58.15
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	2103.00
Cota Máxima	msnm	4924.67
Coordenadas		
Centroide X	m	372031.60
Centroide Y	m	8846360.89
Centroide Z	msnm	3833.54
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	3833.54
Altitud más frecuente	msnm	4293
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3947.31
Pendiente de la cuenca		
Pendiente de la cuenca	%	6.89
Hidrografía		
Longitud del Cauce Principal	km	36.60
Orden de la red Hídrica	Adimensional	5
Longitud de la red Hídrica	km	822.40
pendiente promedio de la red hídrica	%	15.41

Nota. Con la identificación de la cuenca se pudo determinar que de la delimitación los valores de caracterización geométrica son de un área de 1555.61 km², un perímetro de 309.48 km, un ancho de 33.92 km, un largo en dirección al cauce principal de 58.15. El centroide de la cuenca se encuentra en 372031.60 E, 8846360.89 N y 3833.54 msnm.

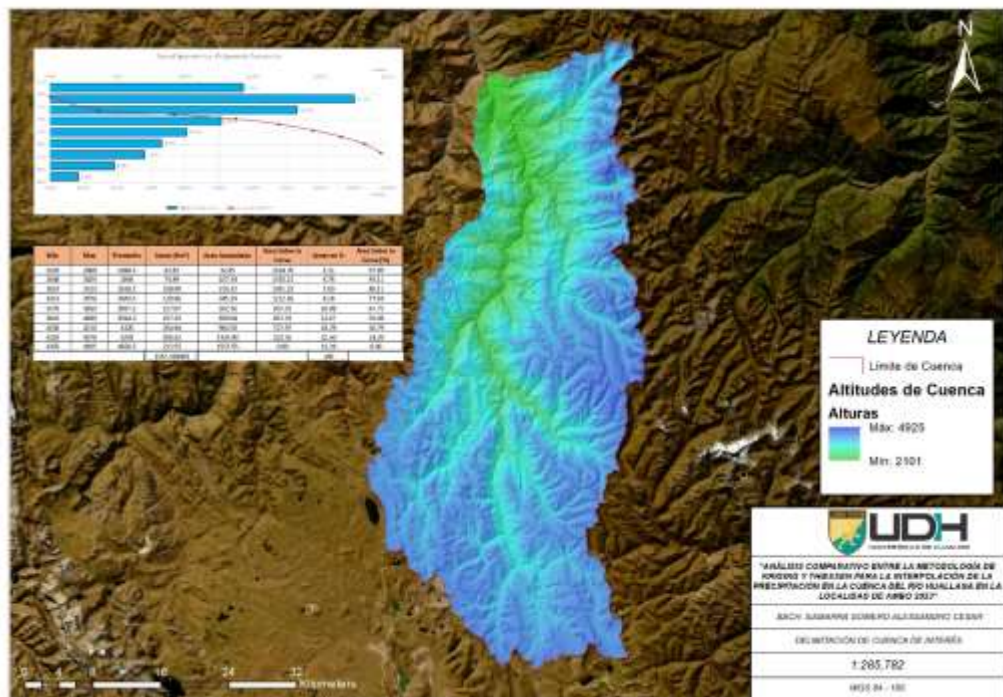
Índices característicos de la cuenca

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca			
Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F	0.58	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	2.20	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	143.93	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	l	10.81	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.53	u/km ²
Índice de pendiente	Ip	0.24	S/N

Nota. Con la identificación de los valores de composición geométrica y geomorfológica de la cuenca se pudo identificar que la cuenca presenta un factor de forma de 0.58, un índice de compacidad de 2.20, una densidad de drenaje de 0.53 u/km² y un índice de pendiente de 0.24. Toda esta caracterización da como resultado que la cuenca es propensa a inundaciones por las características geomorfológicas que presenta en su caracterización.

Figura 28

Análisis de altitudes de cuenca



Nota. Los límites de la cuenca y la imagen de elevación digital obtenida en de la cuenca sirvieron para la identificación y caracterización altitudinal que presenta la cuenca del río Huallaga, con dicha caracterización se pudo estimar la forma de la curva hipsométrica, de la figura se puede identificar que la zona de color más verdusco conforma los cauces que componen el río Huallaga en su recorrido hasta el punto de aforo.

Tabla 26

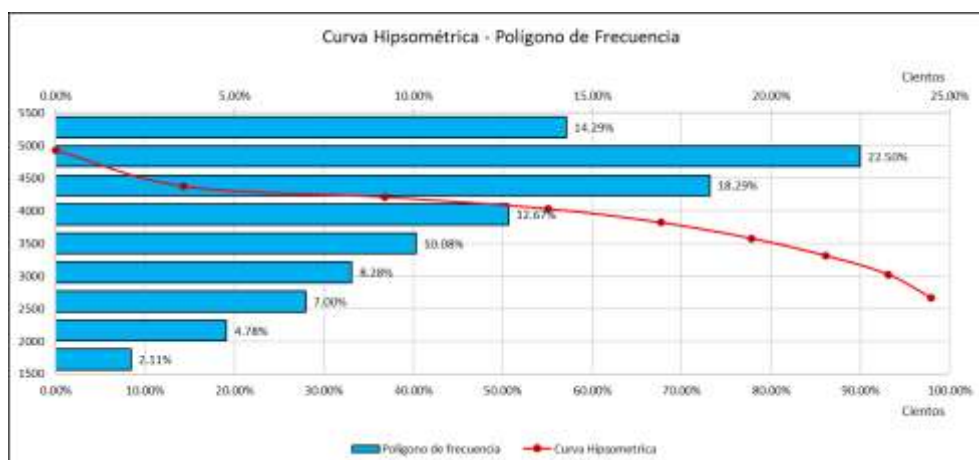
Variabilidad altitudinal

Min	Max	Promedio	Áreas (Km ²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
2101	2668	2384.5	32.85	32.85	1524.70	2.11	97.89
2668	3024	2846	74.49	107.34	1450.21	4.78	93.11
3024	3313	3168.5	108.99	216.32	1341.23	7.00	86.11
3313	3576	3444.5	128.96	345.29	1212.26	8.28	77.83
3576	3819	3697.5	157.07	502.36	857.91	10.08	67.75
3819	4030	3924.5	197.29	699.64	857.91	12.67	55.08
4030	4210	4120	284.94	984.58	572.97	18.29	36.79
4210	4376	4293	350.42	1335.00	222.55	22.50	14.29
4376	4925	4650.5	222.55	1557.55	0.00	14.29	0.00

Nota. Con la imagen de elevación digital delimitada se lograron generar rangos altitudinales con el cual se puedan estimar las áreas acumuladas entre curvas de nivel, para la presente investigación se sectorizaron en 9 rangos de altitudes los cuales comprenden en toda su amplitud a la cuenca del río Huallaga. Dando así que la altitud más recurrente en la cuenca es en promedio la de 4293 msnm con un área de 350.42 km² el cual representa un 22.50% del total del área de la cuenca.

Figura 29

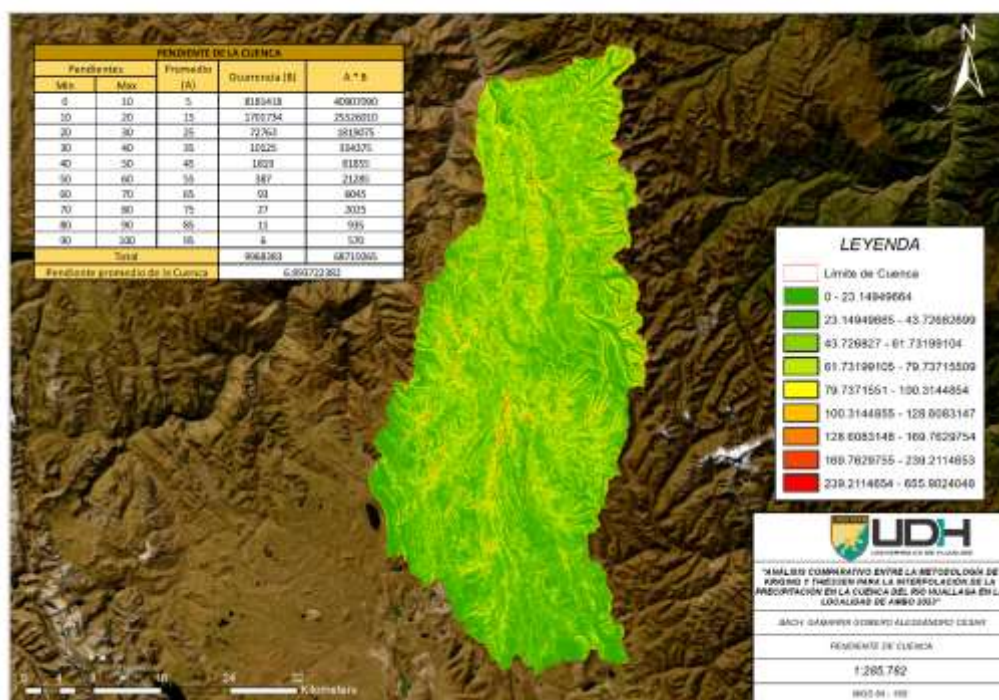
Curva hipsométrica y polígono de frecuencia



Nota. De la figura anterior se puede revalidar que la altura predominante presenta un porcentaje del 22.50% del área total de la cuenca, dicho valor es el de 4293 msnm, la curva hipsométrica que se remarca de color rojo da una caracterización a la cuenca que se encuentra en un estado maduro en su desarrollo, dicha condición hace que la cuenca sea propensa a incrementos de caudales anómalos debido a lluvias de gran intensidad.

Figura 30

Pendiente de delimitación de cuenca



Nota. Con la delimitación de la cuenca y el modelo de elevación se pudo estimar las pendientes en porcentajes de la cuenca que conforma el cauce de interés, los valores de pendiente van desde el 0% al 100%.

Tabla 27

Valores de pendientes

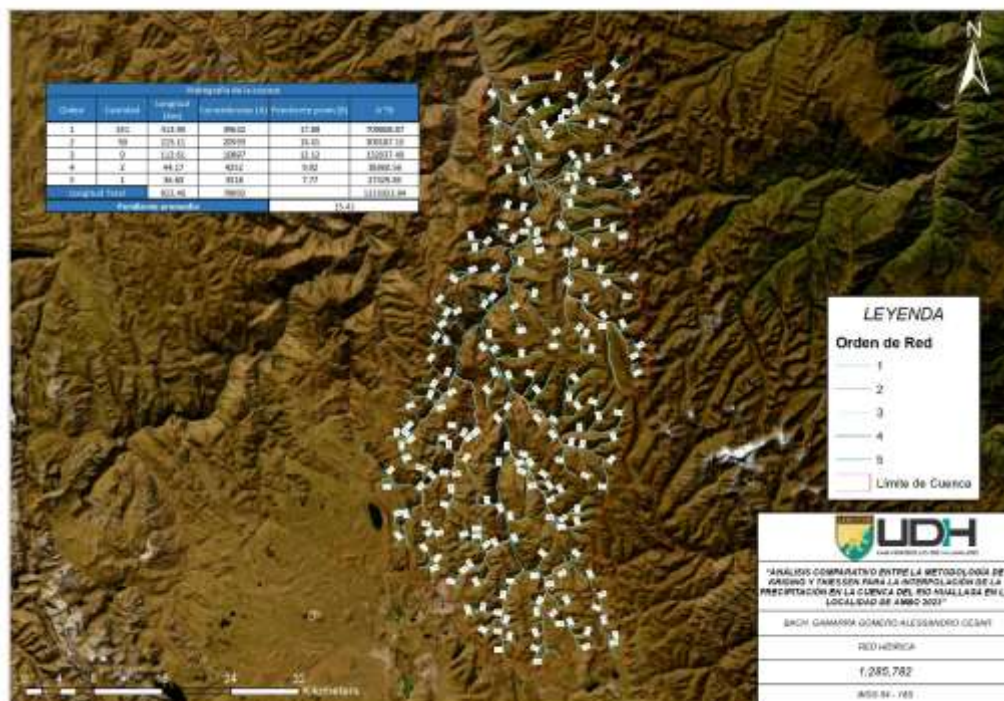
PENDIENTE DE LA CUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	8181418	40907090
10	20	15	1701734	25526010
20	30	25	72763	1819075
30	40	35	10125	354375
40	50	45	1819	81855
50	60	55	387	21285
60	70	65	93	6045
70	80	75	27	2025
80	90	85	11	935
90	100	95	6	570
Total			9968383	68719265
Pendiente promedio de la Cuenca			6.89	

Nota. La caracterización de la cuenca se hizo a partir de porcentajes del 0% al 100%, la caracterización de pendientes requirió del establecimiento de rangos los cuales fueron tomados con un ancho de clase del 10% generando así 10 rangos que caractericen completamente la cuenca, se tomó el valor promedio y se cuantificó la

ocurrencia de dicho rango y a partir de un promedio con respecto a las repeticiones se pudo estimar que la cuenca presenta una pendiente de 6.89% en promedio.

Figura 31

Red hídrica de la cuenca



Nota. Con la delimitación e identificación de la pendiente que conforma la cuenca se pudo estimar los cauces que se generan en la extensión de área que se limita dentro de la cuenca, de ello se logró identificar como se muestra en la figura el valor de la orden de red de cada uno de los cauces identificados, lográndose identificar que la cuenca presenta un orden 5.

Tabla 28

Red hídrica

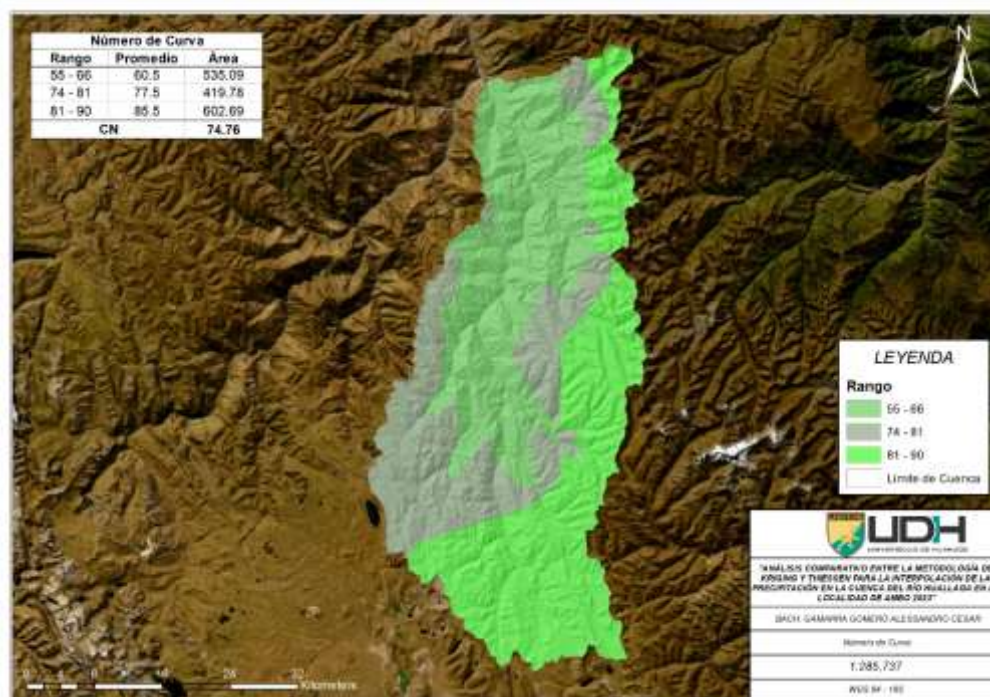
Hidrografía de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A * B
1	241	413.90	39632	17.89	709008.87
2	50	215.11	20593	15.01	309187.15
3	9	112.61	10897	12.12	132037.40
4	2	44.17	4252	9.02	38360.56
5	1	36.60	3518	7.77	27329.85
Longitud Total		822.40	78892		1215923.84
Pendiente promedio					15.41

Nota. Con la identificación de todos los cauces tributarios al río Huallaga se pudo cuantificar que la red hidrográfica de la cuenca tiene una longitud de 822.40 km, esta

red fue interpolada con la capa de pendientes de la cuenca, con el fin de estimar en promedio el valor de la pendiente de la red hídrica, de la misma forma que para la pendiente de la cuenca se identificaron los valores de ocurrencia para las pendientes identificadas y con ello se estimó que el valor promedio de la pendiente del cauce es de 15.41%.

Figura 32

Número de curva



Nota. La cuenca delimitada requirió una caracterización de suelo a fin de poder estimar los valores de caudal por la metodología del SCS número de curva, dicha información fue extraída del Ministerio del Ambiente en formato GIS, y esta a su vez intersecada con los límites de la cuenca de interés dando así que la cuenca se encuentra entre 3 rangos de números de curva.

Tabla 29

Número de curva

Número de Curva		
Rango	Promedio	Área
55 - 66	60.5	535.09
74 - 81	77.5	419.78
81 - 90	85.5	602.69
CN	74.76	

Nota. Cada uno de los rangos identificados en la cuenca fueron delimitados para la cuantificación de sus áreas de influencia y aplicando un promedio a partir de las áreas se logró estimar que la cuenca presenta un valor de número de curva de 74.76.

4.1.2. RECOLECCIÓN DE PLUVIOMETRÍA

Para la recolección de información pluviométrica se realizó la identificación de las estaciones cercanas a la cuenca de interés, obteniéndose así:

Figura 33

Ubicación de estaciones de Interés



Nota. En total se identificaron un total de 10 estaciones cercanas las cuales sirvieron para la interpolación de valores de precipitación, adicionalmente a ello se identificó el centroide de la cuenca en la cual fueron interpolados los valores de precipitación recolectados.

Tabla 30

Ubicación de estaciones pluviométricas

UBICACIÓN DE ESTACIONES			
NOMBRE	NORTE	ESTE	ALTITUD
MAYORARCA	8876214.90	242629.10	3335.00
RICRAN	8724257.00	442502.10	3674.00
CARHUACAYAN	8761305.20	359702.30	4127.00
OYÓN	8820210.80	306538.10	3652.00
MILPO	8906667.00	255091.10	4400.00
TINGO MARÍA	8970701.20	390121.00	657.00
TULUMAYO	8988734.40	389088.50	612.00
SAN RAFAEL	8857946.90	371175.10	2699.00
CANCHÁN	8903044.50	356425.50	1986.00
HUÁNUCO	8899635.60	363133.60	1919.00

Nota. Para la estimación e interpolación de valores de precipitación fue necesaria la georreferenciación de cada una de las cuencas dando así por ejemplo que la estación de San Rafael con coordenadas de 8857946.90 N y 371175.10 E, es la más cercana al centroide y por ende será la más influyente sobre los valores de precipitación interpolados.

Tabla 31

Ficha de registros históricos Estación Mayorarca

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1123785.10		ESTE		242629.10		ALTITUD		3335.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN MAYORARCA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980										0	0	
1981	5.4	14.4	18.4	4.4	0	0						
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987						0	0	0	0			
1988	7.7	15.6	10	7.5	4.1					5	5.9	10.7
1989	10	14.5	11.6	11.1	5.7	0	0	5.3	6.5	10	3.1	23.7
1990	8.4	10.9	10	1	4.8	5.6	0	0	2.2	11.5	8.1	10
1991	8.9	12.7	10	13.3	3.2	0	0.7	0	0	13.5	10	8.6
1992	10	10.4	10	7.2	6.2	0	0	0	0	8.5	5.9	3.2
1993	8.7	17.3	25	12.7	5.2	0	0	0	5	10.1	14.7	12.4
1994	11.8	14.3	12	9.3	7.1	0	0	0	0	2.2	11	10.2
1995	38.4	7.5	13.3	6.7	2.7	0	0	0	0	7.4	6.5	12.1
1996	23.2	17.4	24.5	6.3	4.6	0	0	0	2.3	5.6	6.5	11.2
1997	12.7	14.6	10	6.3	3.4	0	0	0	3.2	10	10	13.9
1998	22	15.8	22.7	9.7	0	0	0	0	2.2	8.6	2.5	5.2
1999	14.5	18.7	7.3	5.5	5.5	4.5	2.2	0	3.4	4.4	12.9	14.7
2000	9.5	14.4	14.5	8.4	4.4	0	0	2.2	5.3	5.3	6.9	11.4
2001	15.9	10.7	9.4	6.5	2.2	0	0	0	6.4	12.9	11.8	6.5
2002	6.3	12.8	11.7	8.9	0	0	0	0	2.3	8	11.5	9.2
2003	9.4	20.6	11.6	13.6	0.3	0	1.2	0	0.1	7.2	6.7	17.8
2004	7.4	14.2	9.6	13.9	0	1.2	0.6	0	2.3	10.5	8.9	13.6
2005	11.1	6.6	10.2	3.4	2.2	0	0	1.3	0	2.9	14	15.5
2006	13.6	22.6	15.1	11.5	0	0	0	4.2	1.2	3.5	4.2	11
2007	9	12	12.2	15.7	6.8	0	0	0	0	7.3	3.3	8.5
2008	18.2	16.5	16	6.2	0	6.5	0	0	0	4.3	7	15.2
2009	17.1	21.6	20.2	8.3	1.8	0	0	1.3	0	15.6	15.1	13.6
2010	17.1	10.2	16.4	9.2	0.4	2.4	0	1.1	2.8	4.7	8.1	14.4
2011	19.1	7.5	9.3	16	0	0		0	0	0.5	8.9	13.3
2012	15.9	20.5	11.5	15	4.6	0	0	0	3.2		7.6	
2013	18.6	25.6	17.8	7.2	0.5	0	0.7	0	0	11.8	14.6	10.5
2014	11.9	12.2	16.5									

Nota. La información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en algunas estaciones no cuenta con un registro completo debido a fallas en el registro o fallas en el equipo instalado, como se presenta para el periodo de 1982 al 1987.

Tabla 32

Resumen de datos de precipitación semi completos

PERIODO DE DATOS DE ESTACIONES			
NOMBRE	AÑO INICIAL	AÑO FINAL	CANTIDAD DE AÑOS
MAYORARCA	1988	2013	26
RICRAN	1965	2013	49
CARHUACAYAN	1986	2013	28
OYÓN	1987	2013	27
MILPO	1980	2013	34
TINGO MARÍA	1955	2015	61
TULUMAYO	1996	2013	18
SAN RAFAEL	1993	2013	21
CANCHÁN	1989	2013	25
HUÁNUCO	1986	2013	28
AÑOS EN ANÁLISIS	1996	2013	18

Nota. De la cuantificación e identificación de la información pluviométrica de las estaciones se pudo estimar que por ejemplo para la estación de Oyón los años completos de información comprenden desde 1987 al 2013 que son en total 27 años hábiles para la aplicación de los métodos de interpolación, en resumen teniendo en cuenta cada una de las estaciones cercanas y de análisis para la investigación se optó por elaborar la investigación desde el año 1996 al 2013 (18 años) ya que esta información comprende la mayor cantidad de datos recolectados del SENAMHI. (Las fichas de cada una de las estaciones fueron colocadas en los Anexos de la investigación)

Tabla 33

Datos preliminares Estación Mayorarca

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	8876214.90		ESTE	242629.10		ALTITUD		3335.00				
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN MAYORARCA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	23.2	17.4	24.5	6.3	4.6	0	0	0	2.3	5.6	6.5	11.2
1997	12.7	14.6	10	6.3	3.4	0	0	0	3.2	10	10	13.9
1998	22	15.8	22.7	9.7	0	0	0	0	2.2	8.6	2.5	5.2
1999	14.5	18.7	7.3	5.5	5.5	4.5	2.2	0	3.4	4.4	12.9	14.7
2000	9.5	14.4	14.5	8.4	4.4	0	0	2.2	5.3	5.3	6.9	11.4
2001	15.9	10.7	9.4	6.5	2.2	0	0	0	6.4	12.9	11.8	6.5
2002	6.3	12.8	11.7	8.9	0	0	0	0	2.3	8	11.5	9.2
2003	9.4	20.6	11.6	13.6	0.3	0	1.2	0	0.1	7.2	6.7	17.8
2004	7.4	14.2	9.6	13.9	0	1.2	0.6	0	2.3	10.5	8.9	13.6
2005	11.1	6.6	10.2	3.4	2.2	0	0	1.3	0	2.9	14	15.5
2006	13.6	22.6	15.1	11.5	0	0	0	4.2	1.2	3.5	4.2	11
2007	9	12	12.2	15.7	6.8	0	0	0	0	7.3	3.3	8.5
2008	18.2	16.5	16	6.2	0	6.5	0	0	0	4.3	7	15.2
2009	17.1	21.6	20.2	8.3	1.8	0	0	1.3	0	15.6	15.1	13.6
2010	17.1	10.2	16.4	9.2	0.4	2.4	0	1.1	2.8	4.7	8.1	14.4
2011	19.1	7.5	9.3	16	0	0		0	0	0.5	8.9	13.3
2012	15.9	20.5	11.5	15	4.6	0	0	0	3.2		7.6	
2013	18.6	25.6	17.8	7.2	0.5	0	0.7	0	0	11.8	14.6	10.5

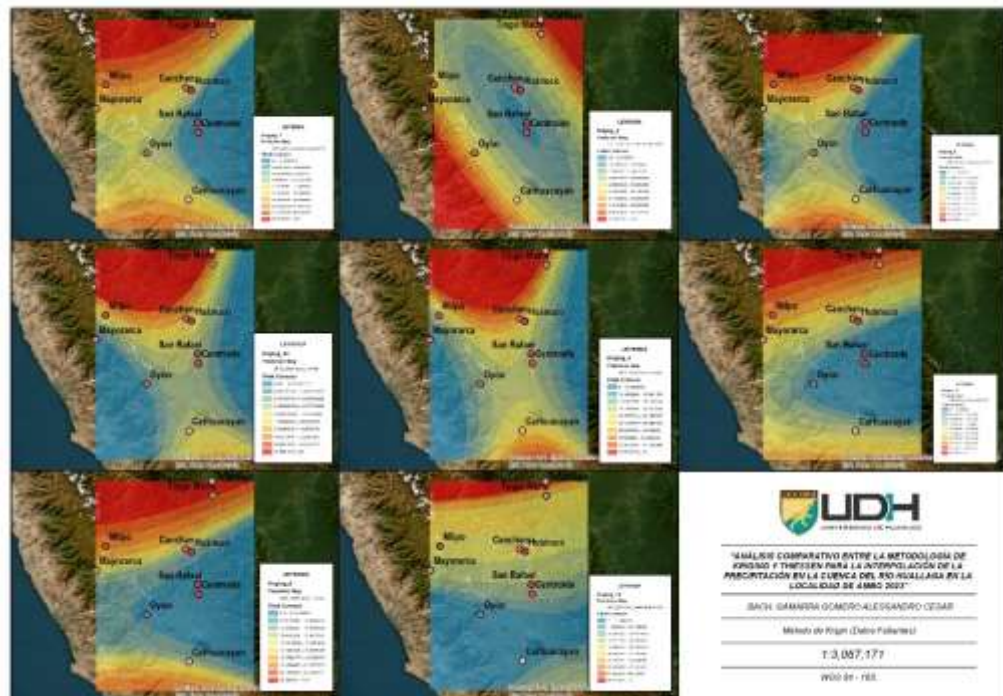
Nota. Si bien el periodo temporal de análisis contiene la mayor cantidad de datos recolectados, estos no están completos al 100% como por ejemplo se muestra en el año 2011 para el mes de julio. (Cada una de las fichas con datos faltantes están ubicadas en el Anexo de la investigación).

4.1.3. METODOLOGÍA KRIGING

Identificado en cada una de las fichas preliminares de las estaciones los datos faltantes estos serán rellenos en este apartado a partir de la aplicación de la metodología de Kriging.

Figura 34

Mapas de Kriging para datos faltantes



Nota. Para cada uno de los meses faltantes en sus respectivos periodos anuales se elaboraron mapas de interpolación por el método de Kriging con la finalidad de completar los valores de acuerdo a cada tipo de metodología, de la figura por ejemplo en la parte superior izquierda se puede observar el mapa de Kriging aplicado para el mes de abril del 2006 el cual va desde valores de 8.3 a 80.5 mm de precipitación identificados en cada tipo de color de acuerdo al valor de lluvia interpolado.

Tabla 34

Datos completados Kriging Estación Oyón

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORT E	1179789.20			EST E	306538.10			ALTITU D	3652.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN OYÓN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JU N	JU L	AG O	SET	OCT	NOV	DIC
1996	14.3 0	13.1 0	23.7 0	11.7 0	2.90	0.0 0	0.0 0	2.00	4.20	15.0 0	8.40	15.5 0
1997	17.6 0	19.6 0	9.60	7.10	0.00	0.0 0	0.0 0	0.00	7.00	6.60	10.4 0	14.4 0
1998	15.7 0	13.4 0	17.5 0	10.2 0	2.00	2.5 0	0.0 0	0.00	4.60	19.5 0	15.0 0	10.0 0
1999	14.2 0	22.5 0	12.6 0	10.2 0	7.40	0.0 0	1.5 0	0.00	11.00	17.6 0	14.4 0	15.4 0
2000	12.5 0	19.8 0	11.2 0	13.8 0	6.40	0.0 0	1.2 0	2.30	12.00	20.3 0	18.8 0	19.4 0
2001	17.0 0	9.60	19.5 0	18.9 0	4.10	5.9 0	0.0 0	0.00	9.10	17.1 0	17.9 0	17.9 0
2002	22.1 0	14.2 0	16.7 0	8.40	5.10	1.0 0	0.0 0	1.80	4.70	18.6 0	13.7 0	14.0 0
2003	15.4 0	26.6 0	17.1 0	6.80	0.00	0.0 0	0.0 0	1.30	6.50	15.8 0	3.70	9.40
2004	9.90	16.6 0	8.80	9.75	0.00	3.6 0	0.0 0	0.00	8.90	11.2 0	15.0 0	10.1 0
2005	10.7 5	10.2 0	15.9 0	1.80	2.20	0.0 0	0.0 0	2.70	0.50	8.00	9.20	12.3 0
2006	14.0 0	20.6 0	11.8 0	11.1 9	0.30	6.2 0	0.0 0	3.30	2.30	6.70	20.1 0	13.4 0
2007	13.9 0	21.7 0	21.3 0	16.1 0	22.2 0	0.0 0	0.0 0	0.00	6.70	13.5 0	9.10	15.0 0
2008	15.2 0	20.7 0	18.9 0	17.5 0	0.00	2.5 0	0.0 0	0.00	2.80	13.2 0	3.20	20.7 0
2009	10.8 0	11.3 0	22.2 0	17.4 0	6.60	0.0 0	1.5 0	2.70	3.90	10.5 0	12.3 0	12.8 0
2010	17.6 0	14.7 0	12.8 0	8.20	0.00	1.2 0	0.0 0	0.00	3.10	11.8 0	8.10	29.6 0
2011	16.3 0	11.1 0	17.9 0	16.3 0	2.80	0.6 0	7.9 7	0.00	3.40	7.80	22.8 0	17.4 0
2012	17.6 0	18.5 0	13.4 0	17.0 0	1.10	1.5 0	0.0 0	0.00	14.30	8.90	10.3 0	12.5 0
2013	14.3 0	2.80	17.4 1	6.15	4.00	0.4 3	1.7 0	0.36	0.77	10.3 6	2.58	17.6 2

Nota. Dentro del análisis de ausencia de datos se pudo identificar que la estación con una alta ausencia de datos es la estación Oyón, estos fueron completados por la metodología Kriging, dando así valores faltantes como fue el caso del mes de abril del 2013 con un valor de 6.15 mm de precipitación.

Figura 35

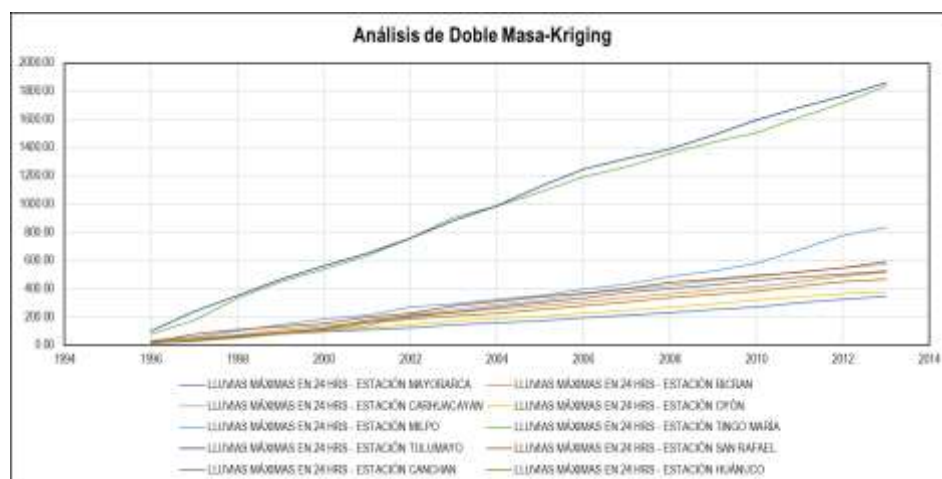
Registro de lluvias completadas por el método de Kriging



Nota. De la figura se puede identificar las variaciones de las lluvias máximas generadas a partir de los valores completados por la metodología de Kriging, se puede verificar por ejemplo que para el año 2001 los valores pico coinciden entre las estaciones más cercanas entre sí. Los valores pico de la gráfica tienen a tener una coherencia en los años analizados como se puede observar en el año 2004 presentando una crecida en todas las estaciones.

Figura 36

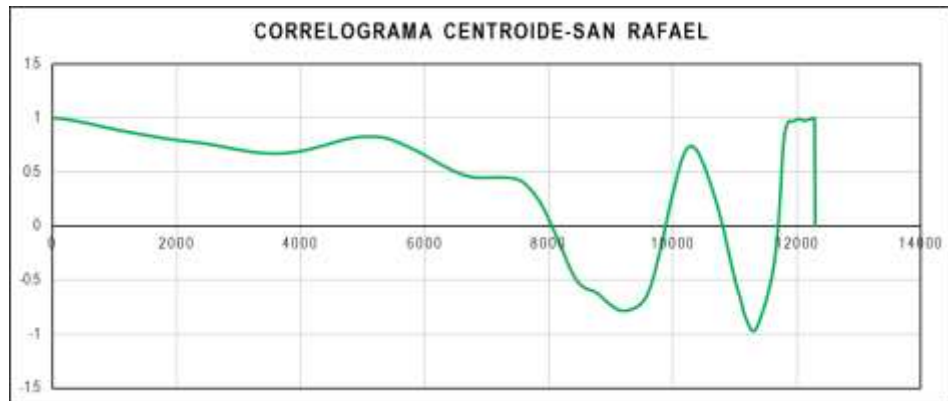
Análisis de doble masa por Kriging



Nota. Otra forma visual de analizar la consistencia de los valores en la serie muestral es el análisis de doble masa en la cual se puede identificar una consistencia de valores en todas las estaciones a excepción de quiebre abrupto que se genera en la estación Milpo al final de su serie de datos analizados. Esta variación no es relevante frente a la consistencia de las demás estaciones debido a que por la distancia esta no influye de manera considerable dentro de la estimación de valores para el centroide de la cuenca de interés.

Figura 37

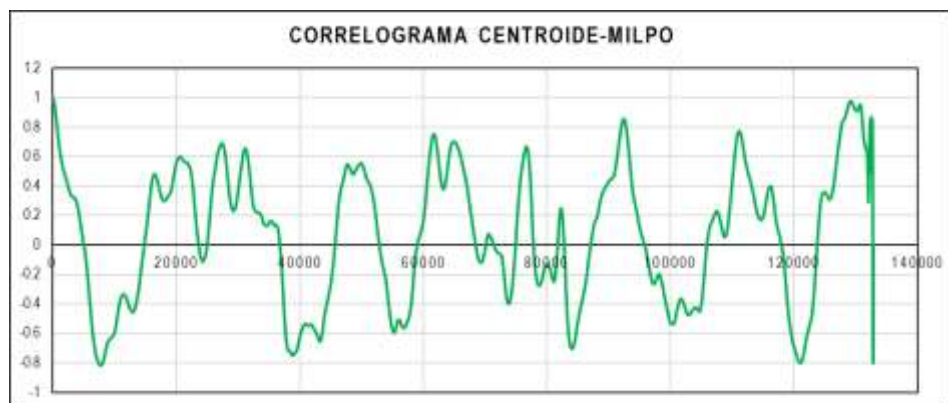
Correlograma estación San Rafael



Nota. El correlograma sirvió para identificar la incidencia de cada uno de los valores en la interpolación con el centroide de la cuenca, como se puede verificar en la figura se identifica que hasta los 7000 m la consistencia de los valores de San Rafael son consistentes en la interpolación y a partir de los 8000 m la información que brinda la estación es variable y no muy influyente en la interpolación de la estación, esto se debe a la cercanía entre los puntos y a que en esa dirección el terreno mantiene una topografía muy regular casi plana.

Figura 38

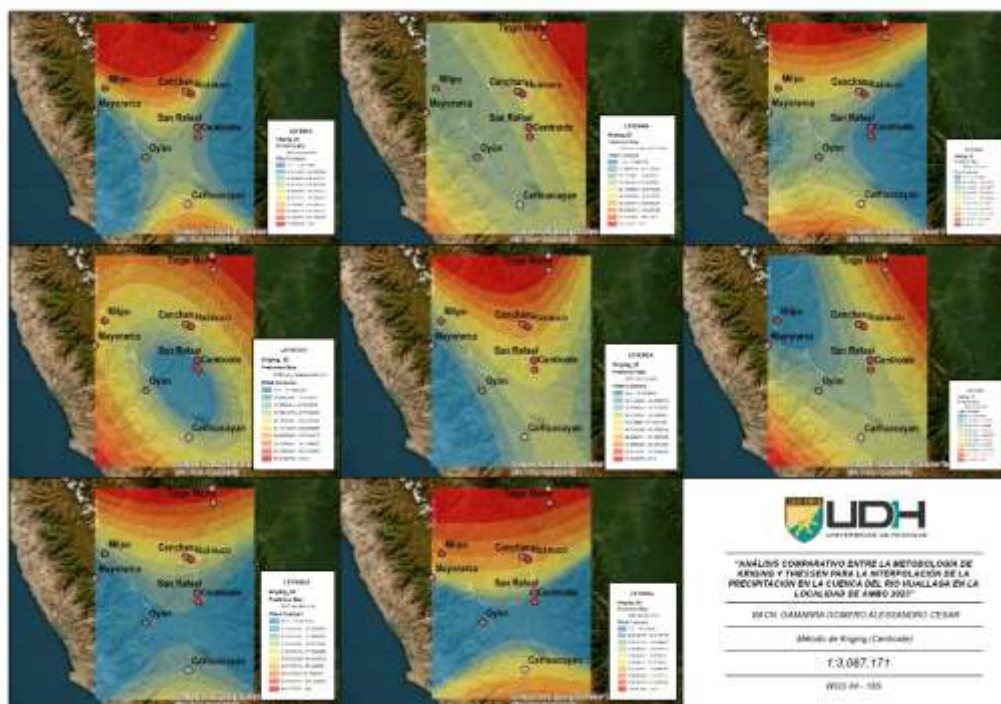
Correlograma estación Milpo



Nota. Se presenta en la figura el correlograma de la estación Milpo en la cual se puede observar que no hay presencia de una meseta con lo cual se puede determinar que la estación Milpo no es muy influyente en la interpolación con el centroide de la cuenca, esto se debe a que en la línea que une el centroide y la estación Milpo hay una variación topográfica muy accidentada lo cual genera una alteración en los valores de precipitación interpolados.

Figura 39

Interpolación al centroide Estación Kriging



Nota. Completados los valores de precipitación de cada una de las estaciones se realizaron las interpolaciones de los valores máximos anuales en el periodo de 1996 a 2013, de la figura como se puede observar son los mapas generados a partir de la metodología de Kriging, la figura central por ejemplo es la que comprende al año 2001 y contiene la información de 15.9 a 95.9 mm de precipitación en la amplitud de los colores planteados, con dicha información se logró interpolar la información al centroide de la cuenca.

Tabla 35

Valores máximos por el método Kriging

REGISTRO INTERPOLADO DE LLUVIAS		
MÉTODO DE KRIGING		
NORTE	8846067.348	
ESTE	372396.935	
ALTITUD		
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN INTERPOLADA		
AÑO	MAX	LOG(MAX)
1996	16.61	1.22
1997	22.41	1.35
1998	21.41	1.33
1999	20.08	1.30
2000	17.58	1.24
2001	30.96	1.49

2002	19.65	1.29
2003	31.90	1.50
2004	19.26	1.28
2005	21.61	1.33
2006	21.39	1.33
2007	24.06	1.38
2008	27.71	1.44
2009	18.27	1.26
2010	18.17	1.26
2011	18.18	1.26
2012	20.58	1.31
2013	21.16	1.33
Cant. Datos	18.00	18.00
Sumatoria	391.02	23.93
Val. Máx	31.90	1.50
Val. Mín	16.61	1.22
Media	21.72	1.33
Varianza	19.18	0.01
Desv. Estánd.	4.38	0.08
Coef. Variac.	0.20	0.06
Coef. Sesgo	1.34	1.02
Considerar	<i>Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos</i>	

Nota. De la tabla se presenta la serie de valores que comprende los valores máximos en el periodo de 1996 al 2013 estimado a partir del método de Kriging, en total se presentaron 18 años, con una sumatoria de 391.02 mm de precipitación acumulada, entre los valores de 31.90 mm a 16.61 mm, el promedio de precipitación fue de 21.72 mm, teniendo una varianza de 19.18 con respecto a la media, el valor de la desviación estándar de la muestra es de 4.38 dando a entender que en promedio los valores se desvían en 4.38 mm a partir del valor medio de la muestra, el coeficiente de variación es de 0.20 con lo cual se puede decir que la serie de valores varía en 20% al la media de la serie lo cual se traduce en una variabilidad moderada, el coeficiente de sesgo que presenta la serie es de 1.34 el cual referencia a que hay un sesgo positivo con lo cual se estima que los valores se alejan con valores altos de la media estimada y con toda esta información recopilada se pudo estimar que es necesario aplicar una prueba de valores anómalos.

Tabla 36

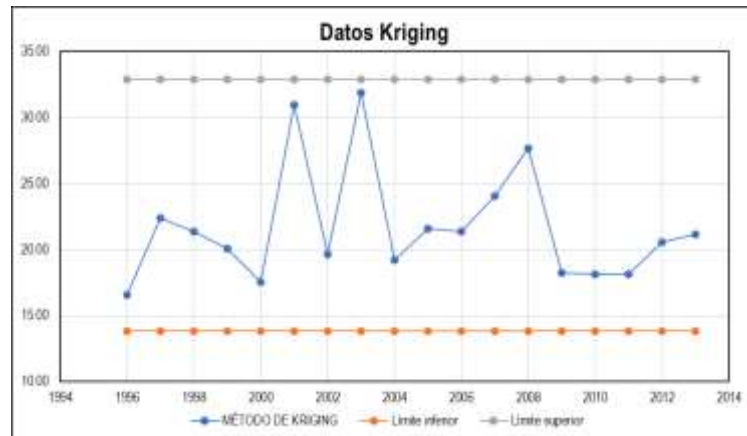
Prueba de valores anómalos

Kn	2.34
xH	1.52
xL	1.14
Pmáx	32.92 mm
Pmín	13.85 mm
Límite inferior	No existen datos dudosos altos en la muestra
Límite superior	No existen datos dudosos bajos en la muestra

Nota. De la serie muestral se tiene un total de 18 valores a analizar con lo cual se identifica que debió ser estimado con un factor de anomalía de 2.34, el valor de la variable x varía de acuerdo a la media estimada de la serie muestral para el límite superior se tiene un valor de 1.52 y para el límite inferior se tiene un valor de 1.14, con estos valores se identificaron los valores máximos y mínimos aceptados, teniendo así que el valor máximo aceptado es de 32.92 mm y el valor mínimo es de 13.85 mm.

Figura 40

Prueba de valores anómalos



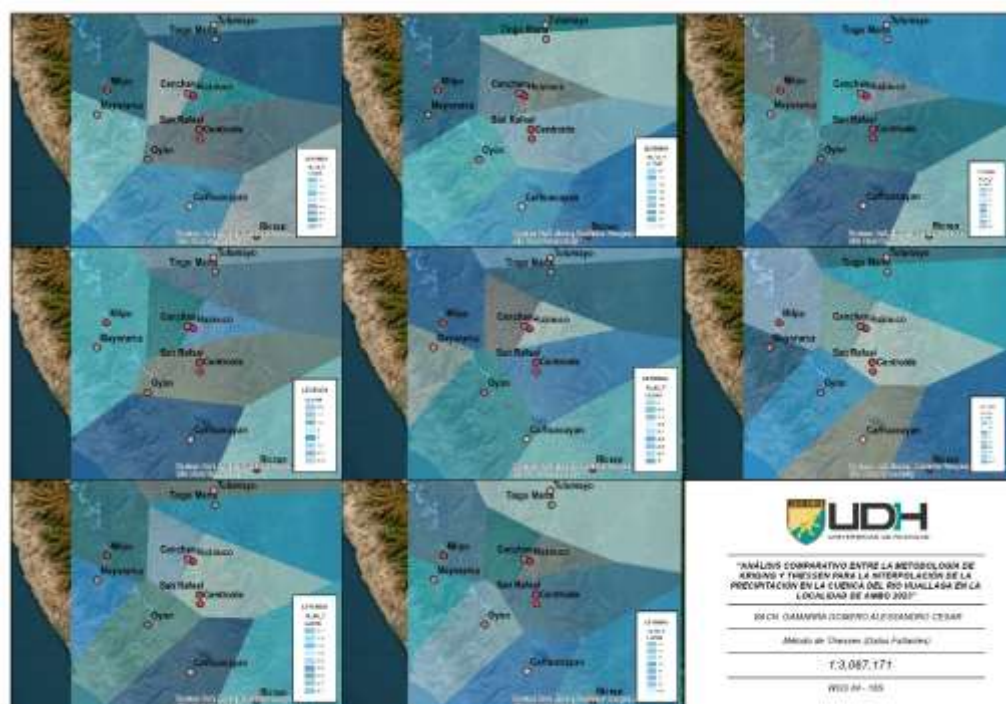
Nota. De la figura se puede identificar que el valor más crítico es del año 2003 el cual se acerca al límite superior pero no llega a superar el valor máximo aceptado, por lo cual se demuestra que la serie presenta una consistencia de valores.

4.1.4. METODOLOGÍA THIESSEN

Identificado en cada una de las fichas preliminares de las estaciones los datos faltantes estos serán rellenados en este apartado a partir de la aplicación de la metodología de Thiessen.

Figura 41

Mapas de Thiessen para datos faltantes



Nota. Para cada uno de los meses faltantes en sus respectivos periodos anuales se elaboraron mapas de interpolación por el método de Thiessen con la finalidad de completar los valores de acuerdo a cada tipo de metodología, de la figura por ejemplo en la parte superior izquierda se puede observar el mapa de Thiessen aplicado para el mes de octubre del 2013 el cual va desde valores de 11 a 70 mm de precipitación identificados en cada tipo de color de acuerdo al valor de lluvia interpolado.

Tabla 37

Datos completados Thiessen Estación Oyón

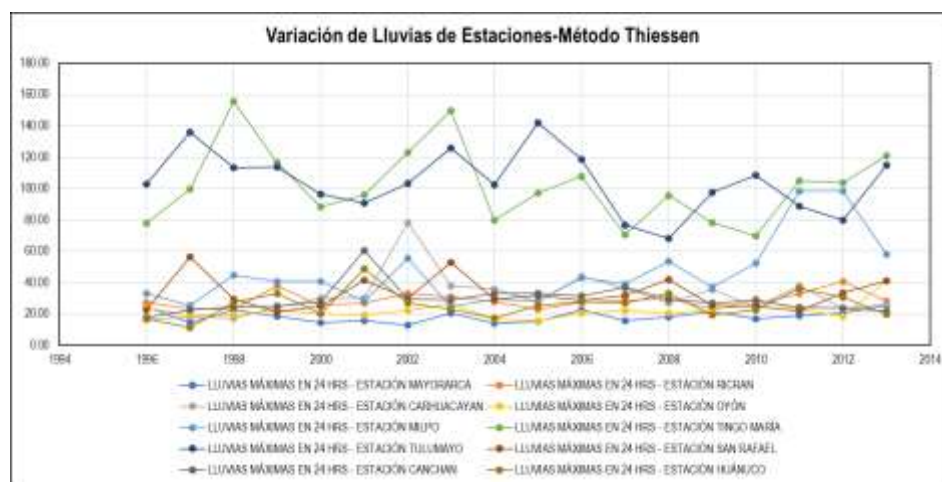
REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1179789.20		ESTE	306538.10		ALTITUD		3652.00				
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN OYÓN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	14.3	13.1	23.7	11.7	2.9	0	0	2	4.2	15	8.4	15.5
1997	17.6	19.6	9.6	7.1	0	0	0	0	7	6.6	10.4	14.4
1998	15.7	13.4	17.5	10.2	2	2.5	0	0	4.6	19.5	15	10
1999	14.2	22.5	12.6	10.2	7.4	0	1.5	0	11	17.6	14.4	15.4
2000	12.5	19.8	11.2	13.8	6.4	0	1.2	2.3	12	20.3	18.8	19.4
2001	17	9.6	19.5	18.9	4.1	5.9	0	0	9.1	17.1	17.9	17.9
2002	22.1	14.2	16.7	8.4	5.1	1	0	1.8	4.7	18.6	13.7	14
2003	15.4	26.6	17.1	6.8	0	0	0	1.3	6.5	15.8	3.7	9.4
2004	9.9	16.6	8.8	10.8	0	3.6	0	0	8.9	11.2	15	10.1
2005	9.9	10.2	15.9	1.8	2.2	0	0	2.7	0.5	8	9.2	12.3
2006	14	20.6	11.8	9	0.3	6.2	0	3.3	2.3	6.7	20.1	13.4
2007	13.9	21.7	21.3	16.1	22.2	0	0	0	6.7	13.5	9.1	15
2008	15.2	20.7	18.9	17.5	0	2.5	0	0	2.8	13.2	3.2	20.7
2009	10.8	11.3	22.2	17.4	6.6	0	1.5	2.7	3.9	10.5	12.3	12.8

2010	17.6	14.7	12.8	8.2	0	1.2	0	0	3.1	11.8	8.1	29.6
2011	16.3	11.1	17.9	16.3	2.8	0.6	1.4	0	3.4	7.8	22.8	17.4
2012	17.6	18.5	13.4	17	1.1	1.5	0	0	14.3	8.9	10.3	12.5
2013	14.3	2.8	15.9	12.2	4	9.9	4	15	9.1	24.6	27	41.1

Nota. Dentro del análisis de ausencia de datos se pudo identificar que la estación con una alta ausencia de datos es la estación Oyón, estos fueron completados por la metodología Thiessen, dando así valores faltantes como fue el caso del mes de abril del 2013 con un valor de 12.2 mm de precipitación.

Figura 42

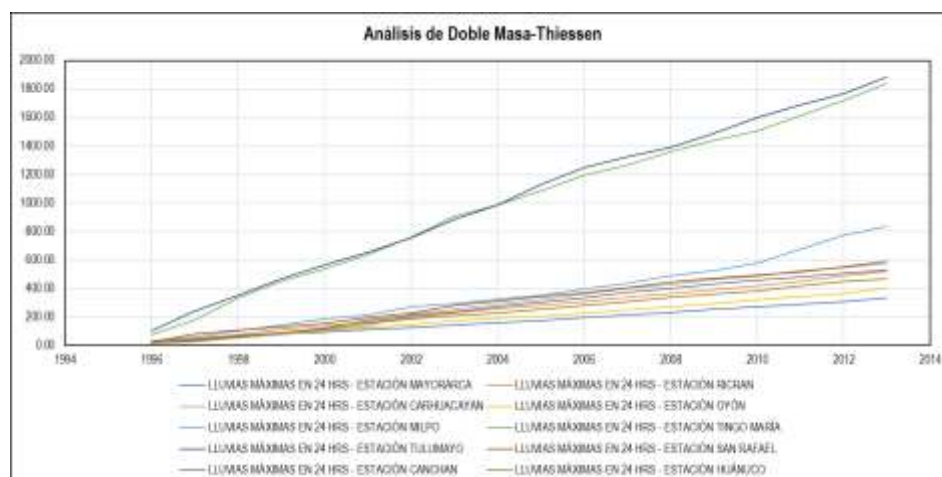
Registro de lluvias completadas por el método de Thiessen



Nota. De la figura se puede identificar las variaciones de las lluvias máximas generadas a partir de los valores completados por la metodología de Kriging, se puede verificar por ejemplo que para el año 2008 los valores pico coinciden entre las estaciones más cercanas entre sí. Los valores pico de la gráfica tienen a tener una coherencia en los años analizados como se puede observar en el año 2002 presentando una crecida en todas las estaciones.

Figura 43

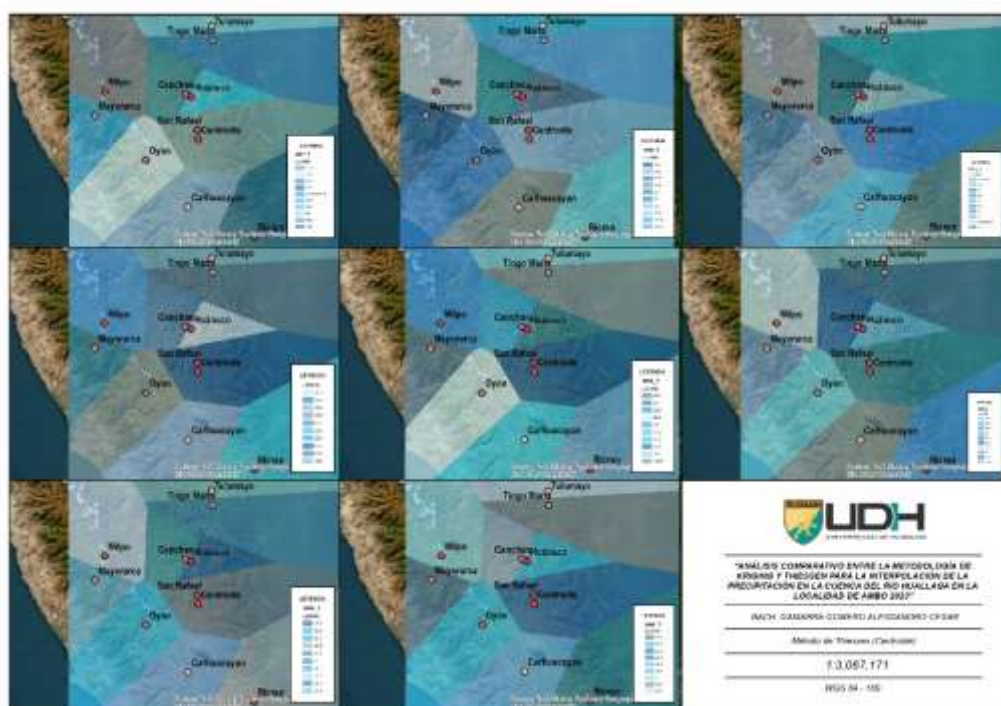
Análisis de doble masa por Thiessen



Nota. Otra forma visual de analizar la consistencia de los valores en la serie muestral es el análisis de doble masa en la cual se puede identificar una consistencia de valores en todas las estaciones a excepción de quiebre abrupto que se genera en la estación Milpo al final de su serie de datos analizados. Esta variación no es relevante frente a la consistencia de las demás estaciones debido a que por la distancia esta no influye de manera considerable dentro de la estimación de valores para el centroide de la cuenca de interés.

Figura 44

Interpolación al centroide Estación Thiessen



Nota. Completados los valores de precipitación de cada una de las estaciones se realizaron las interpolaciones de los valores máximos anuales en el periodo de 1996 a 2013, de la figura como se puede observar son los mapas generados a partir de la metodología de Thiessen, la figura central por ejemplo es la que comprende al año 2003 y contiene la información de 20.6 a 149.7 mm de precipitación en la amplitud de los colores planteados, con dicha información se logró interpolar la información al centroide de la cuenca.

Tabla 38

Valores máximos por el método Thiessen

REGISTRO INTERPOLADO DE LLUVIAS		
MÉTODO DE THIESSEN		
NORTE	8846067.348	
ESTE	372396.935	
ALTITUD		
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN INTERPOLADA		
AÑO	MAX	LOG(MAX)
1996	22.80	1.36
1997	56.70	1.75
1998	29.40	1.47
1999	21.60	1.33
2000	25.10	1.40
2001	41.80	1.62
2002	29.90	1.48
2003	52.90	1.72
2004	29.60	1.47
2005	32.00	1.51
2006	28.80	1.46
2007	31.90	1.50
2008	42.10	1.62
2009	25.50	1.41
2010	25.10	1.40
2011	21.80	1.34
2012	33.50	1.53
2013	41.10	1.61
Cant. Datos	18.00	18.00
Sumatoria	591.60	26.98
Val. Máx	56.70	1.75
Val. Mín	21.60	1.33
Media	32.87	1.50
Varianza	104.59	0.02
Desv. Estánd.	10.23	0.12
Coef. Variac.	0.31	0.08
Coef. Sesgo	1.13	0.64
Considerar	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

Nota. De la tabla se presenta la serie de valores que comprende los valores máximos en el periodo de 1996 al 2013 estimado a partir del método de Thiessen, en total se presentaron 18 años, con una sumatoria de 591.60 mm de precipitación acumulada, entre los valores de 56.70 mm a 21.60 mm, el promedio de precipitación fue de 32.87 mm, teniendo una varianza de 104.59 con respecto a la media, el valor de la desviación estándar de la muestra es de 10.23 dando a entender que en promedio los valores se desvían en 10.23 mm a partir del valor medio de la muestra, el coeficiente de variación es de 0.31 con lo cual se puede decir que la serie de valores varía en 31% a la media de la serie lo cual se traduce en una variabilidad moderada, el coeficiente de sesgo que presenta la serie es de 1.13 el cual referencia a que hay un sesgo positivo con lo cual

se estima que los valores se alejan con valores altos de la media estimada y con toda esta información recopilada se pudo estimar que es necesario aplicar una prueba de valores anómalos.

Tabla 39

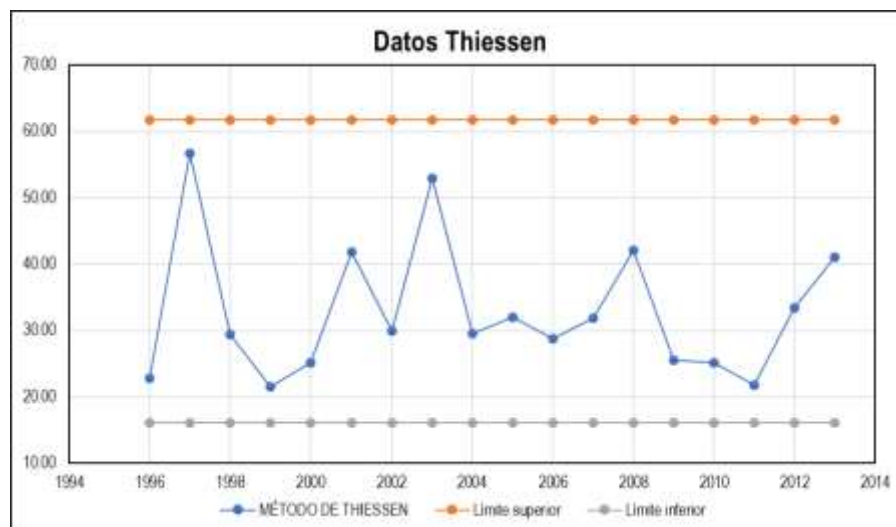
Prueba de valores anómalos

<i>Kn</i>	2.34
<i>xH</i>	1.79
<i>xL</i>	1.21
<i>Pmáx</i>	61.70 mm
<i>Pmín</i>	16.13 mm
<i>Límite inferior</i>	No existen datos dudosos altos en la muestra
<i>Límite superior</i>	No existen datos dudosos bajos en la muestra

Nota. De la serie muestral se tiene un total de 18 valores a analizar con lo cual se identifica que debió ser estimado con un factor de anomalía de 2.34, el valor de la variable x varía de acuerdo a la media estimada de la serie muestral para el límite superior se tiene un valor de 1.79 y para el límite inferior se tiene un valor de 1.21, con estos valores se identificaron los valores máximos y mínimos aceptados, teniendo así que el valor máximo aceptado es de 61.70 mm y el valor mínimo es de 16.13 mm.

Figura 45

Prueba de valores anómalos



Nota. De la figura se puede identificar que el valor más crítico es del año 1997 el cual se acerca al límite superior pero no llega a superar el valor máximo aceptado, por lo cual se demuestra que la serie presenta una consistencia de valores.

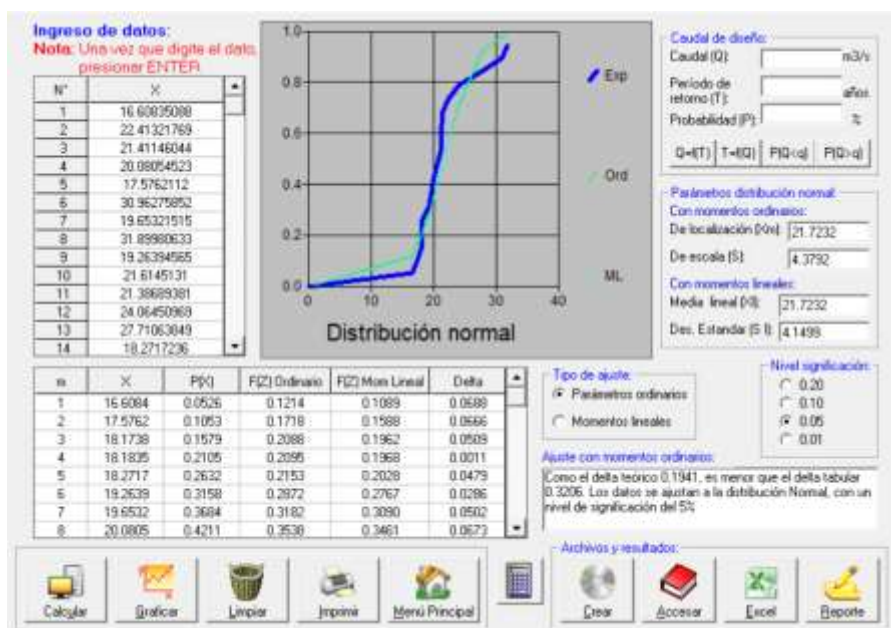
4.1.5. ANÁLISIS DE TORMENTA

➤ Kriging

Los valores de precipitación máxima determinados en el apartado anterior fueron sometidos a una prueba de bondad con la finalidad de estimar los valores de intensidad que caractericen los valores de caudal para un periodo de retorno determinado.

Figura 46

Prueba de bondad Normal



Nota. Los valores máximos estimados a partir de la metodología de Kriging fueron sometidos a la prueba de distribución estadística Normal con la finalidad de estimar precipitaciones en diferentes periodos de retorno, del análisis se pudo determinar que el valor del delta teórico para la serie fue de 0.1941.

Tabla 40

Pruebas de distribución-Kriging

PRUEBA DE BONDAD-MÉTODO KRIGING		
PRUEBA	DELTA TEÓRICO	DELTA TABULAR
Normal	0.1941	0.3206
Log-Normal 2P	0.1582	0.3206
Log-Normal 3P	0.0926	0.3206
Gamma 2P	0.1705	0.3206
Gamma 3P	0.10449	0.3206

Log-Pearson T-III	0.09128	0.3206
Gumbel	0.1241	0.3206
Log-Gumbel	0.0875	0.3206
Método	Log-Gumbel	0.0875

Nota. La serie estimada fue sometida en total a 8 pruebas de distribución con el fin de identificar la distribución que más se ajuste, esto se puede cuantificar a partir del delta teórico, mientras menor sea al valor del delta teórico la distribución se ajusta mejor, siendo así para la serie de interés se pudo determinar que la distribución que mejor se ajusta es la de Log-Gumbel con un valor de delta teórico de 0.0875.

Tabla 41

Precipitaciones por periodos de retorno

PRECIPITACIONES MÁXIMAS	
PERIODO DE RETORNO	PP
2	20.71
5	24.4
10	27.19
25	31.19
50	34.52
100	38.19
105	38.46
500	48.21
1000	53.3
10000	74.34

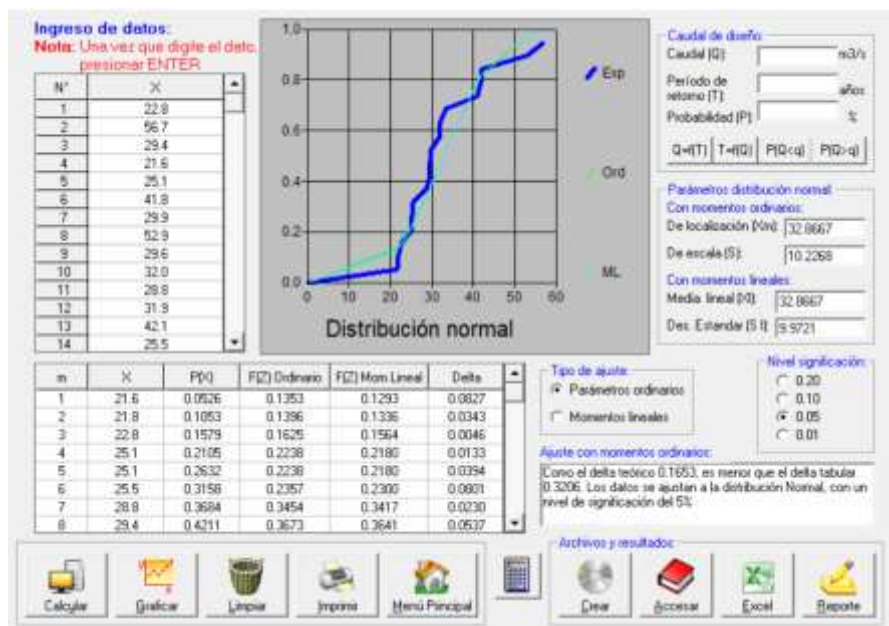
Nota. Con la identificación de la serie de distribución optima se estimaron los valores de precipitación para 10 diferentes periodos de retorno con la finalidad de establecer las curvas IDF para la estimación de intensidades, de la serie se tiene que para un periodo de retorno de 10 años la precipitación máxima por el método de Kriging sería de 27.19 mm.

➤ Thiessen

Los valores de precipitación máxima determinados en el apartado anterior fueron sometidos a una prueba de bondad con la finalidad de estimar los valores de intensidad que caractericen los valores de caudal para un periodo de retorno determinado.

Figura 47

Prueba de bondad Normal



Nota. Los valores máximos estimados a partir de la metodología de Thiessen fueron sometidos a la prueba de distribución estadística Normal con la finalidad de estimar precipitaciones en diferentes periodos de retorno, del análisis se pudo determinar que el valor del delta teórico para la serie fue de 0.1653.

Tabla 42

Pruebas de distribución-Kriging

PRUEBA DE BONDAD-MÉTODO THIESSEN		
PRUEBA	DELTA TEÓRICO	DELTA TABULAR
Normal	0.1653	0.3206
Log-Normal 2P	0.1119	0.3206
Log-Normal 3P	0.0973	0.3206
Gamma 2P	0.131	0.3206
Gamma 3P	0.08986	0.3206
Log-Pearson T-III	0.09156	0.3206
Gumbel	0.0968	0.3206
Log-Gumbel	0.1048	0.3206
Método	Gamma 3P	0.08986

Nota. La serie estimada fue sometida en total a 8 pruebas de distribución con el fin de identificar la distribución que más se ajuste, esto se puede cuantificar a partir del delta teórico, mientras menor sea al valor del delta teórico la distribución se ajusta mejor,

siendo así para la serie de interés se pudo determinar que la distribución que mejor se ajusta es la de Gamma 3P con un valor de delta teórico de 0.08986.

Tabla 43

Precipitaciones por periodos de retorno

PRECIPITACIONES MÁXIMAS	
PERIODO DE RETORNO	PP
2	30.98
5	40.44
10	46.58
25	54.06
50	59.43
100	64.62
105	64.98
500	76.11
1000	80.82
10000	94.25

Nota. Con la identificación de la serie de distribución optima se estimaron los valores de precipitación para 10 diferentes periodos de retorno con la finalidad de establecer las curvas IDF para la estimación de intensidades, de la serie se tiene que para un periodo de retorno de 10 años la precipitación máxima por el método de Thiessen sería de 46.58 mm.

4.1.6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

➤ Kriging

Tabla 44

Precipitaciones ajustadas

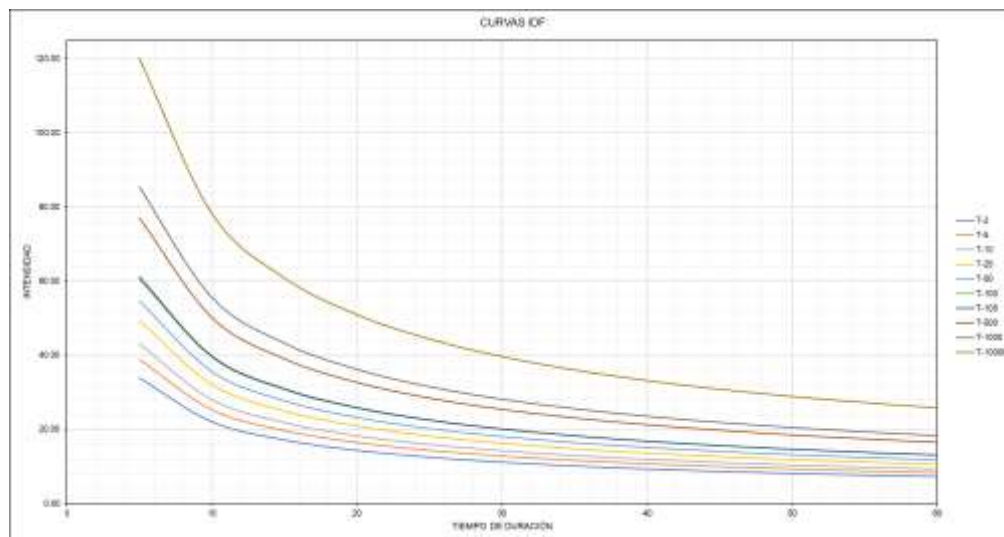
PRECIPITACIONES MÁXIMAS			
PERIODO DE RETORNO	PP	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2	20.71	0.50000	23.4023
5	24.4	0.80000	27.5720
10	27.19	0.90000	30.7247
25	31.19	0.96000	35.2447
50	34.52	0.98000	39.0076
100	38.19	0.99000	43.1547
105	38.46	0.99048	43.4598
500	48.21	0.99800	54.4773
1000	53.3	0.99900	60.2290
10000	74.34	0.99990	84.0042

Nota. Una vez determinados los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno, se procedió a calcular los valores de intensidad que caracterizan a la hidrología de la cuenca, esto se estimó a partir de la aplicación de un factor de seguridad de 1.13

para tener un margen de error dentro de la estimación de caudales, siendo esto que para un periodo de retorno de 10 años se trabajará con un valor de 30.72 aplicando la metodología de Kriging.

Figura 48

Curva IDF – Kriging



Nota. Con la aplicación de la fórmula de intensidades se logró determinar los valores que componen la curva IDF con el fin de tener una proyección de valores para diferentes tiempos de concentración en la cuenca de interés.

Tabla 45

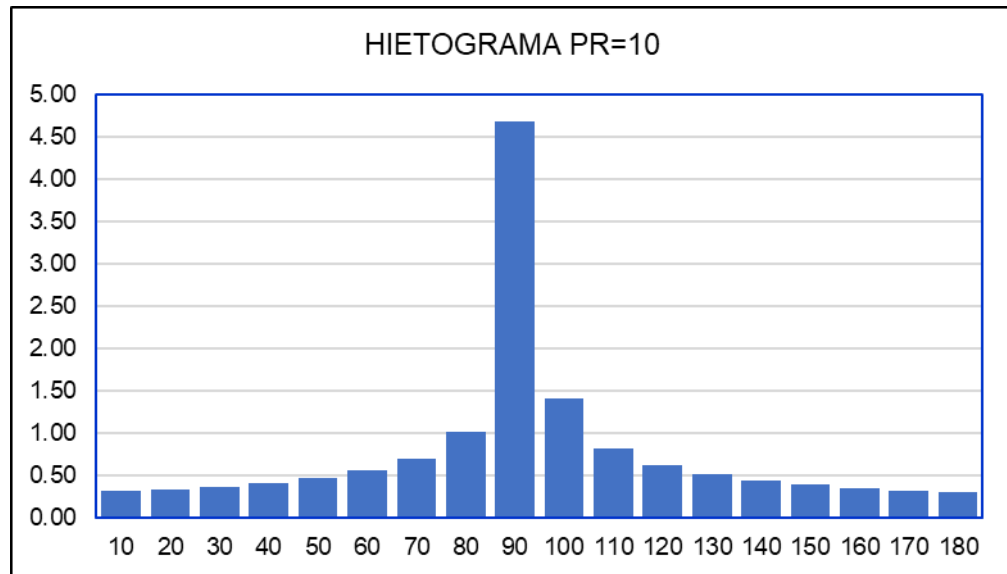
Intensidades para PR=10 años

TORMENTA DE DISEÑO							
PERIODO DE RETORNO	10 años	DURACIÓN DE TORMENTA	3.00 hrs	180 min	INTENSIDAD DE LLUVIA	4.700	P24hr (mm)
INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
10	28.090	4.682	4.682	28.090	0.315	1.892	0.315
20	18.295	6.098	1.417	8.501	0.342	2.049	0.657
30	14.237	7.118	1.020	6.120	0.374	2.247	1.031
40	11.916	7.944	0.826	4.953	0.417	2.503	1.448
50	10.380	8.650	0.706	4.234	0.475	2.853	1.924
60	9.273	9.273	0.623	3.737	0.562	3.369	2.486
70	8.429	9.834	0.562	3.369	0.706	4.234	3.191
80	7.761	10.348	0.514	3.083	1.020	6.120	4.211
90	7.216	10.823	0.475	2.853	4.682	28.090	8.893
100	6.760	11.267	0.444	2.663	1.417	8.501	10.310
110	6.373	11.684	0.417	2.503	0.826	4.953	11.135
120	6.039	12.079	0.394	2.366	0.623	3.737	11.758
130	5.748	12.453	0.374	2.247	0.514	3.083	12.272
140	5.490	12.810	0.357	2.142	0.444	2.663	12.716
150	5.261	13.152	0.342	2.049	0.394	2.366	13.110
160	5.055	13.480	0.328	1.967	0.357	2.142	13.467
170	4.869	13.795	0.315	1.892	0.328	1.967	13.795
180	4.700	14.099	0.304	1.824	0.304	1.824	14.099

Nota. Con la elaboración de las curvas IDF se logró estimar que para un periodo de retorno se tendrá una intensidad máxima de 4.682 mm en un periodo de concentración de 180 min, este valor sirvió para elaborar el hietograma de intensidad con el cual se determinó el caudal de interés.

Figura 49

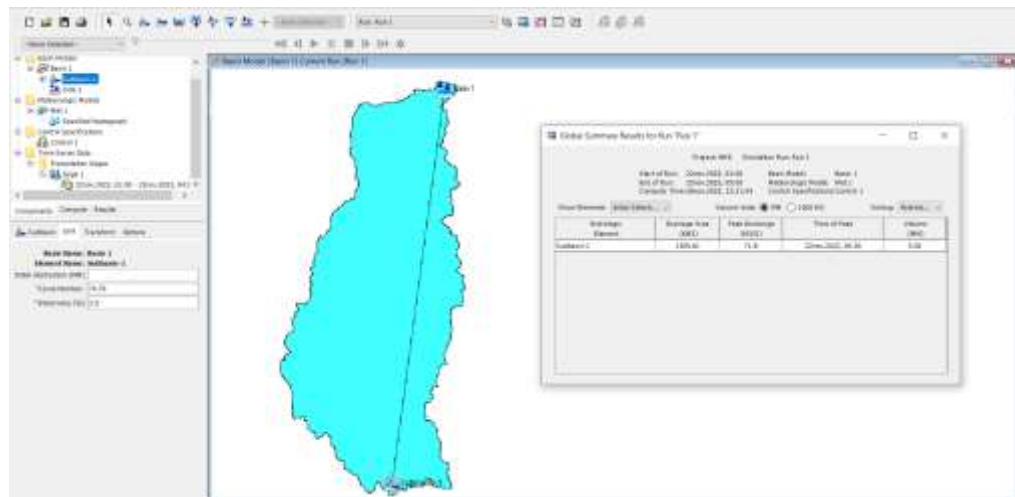
Hietograma de intensidades PR=10



Nota. Definido el tiempo de concentración de 180 min se pudo elaborar a partir de bloques alternos el hietograma de intensidades teniendo así que para una duración de 90 min la intensidad es de 4.68.

Figura 50

Modelo HEC-HMS



Nota. Con la caracterización geomorfológica de la cuenca la estimación de los valores hidrológicos de la cuenca se elaboró el modelo en el software HEC-HMS con la finalidad de estimar el valor de caudal para el análisis a partir de la metodología del número de curva, para un periodo de retorno de 10 años el caudal estimado fue de 71.80 m³/s.

Tabla 46*Caudales Kriging*

CAUDAL CALCULADO		
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL
10	71.80	87.32

Nota. Para la cuenca delimitada se aplicó como un valor referencial de caudal el estimado a partir del método racional, dicha metodología dio como resultado un caudal de 87.32 m³/s siendo un valor cercano al estimado por la metodología del número de curva.

➤ **Thiessen**

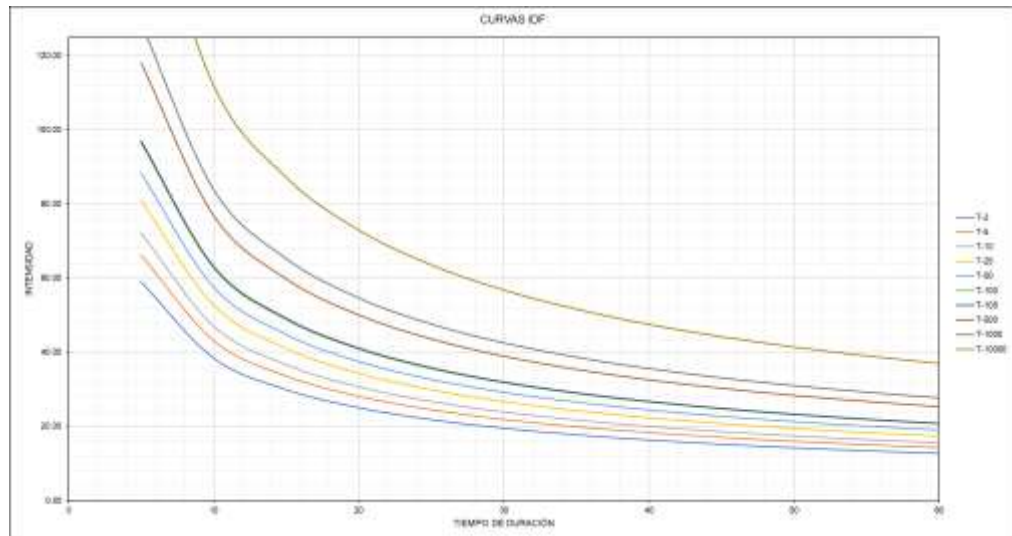
Tabla 47*Precipitaciones ajustadas*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS			
PERIODO DE RETORNO	PP	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2	30.98	0.50000	35.0074
5	40.44	0.80000	45.6972
10	46.58	0.90000	52.6354
25	54.06	0.96000	61.0878
50	59.43	0.98000	67.1559
100	64.62	0.99000	73.0206
105	64.98	0.99048	73.4274
500	76.11	0.99800	86.0043
1000	80.82	0.99900	91.3266
10000	94.25	0.99990	106.5025

Nota. Una vez determinados los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno, se procedió a calcular los valores de intensidad que caracterizan a la hidrología de la cuenca, esto se estimó a partir de la aplicación de un factor de seguridad de 1.13 para tener un margen de error dentro de la estimación de caudales, siendo esto que para un periodo de retorno de 10 años se trabajará con un valor de 52.63 mm aplicando la metodología de Thiessen.

Figura 51

Curva IDF – Thiessen



Nota. Con la aplicación de la fórmula de intensidades se logró determinar los valores que componen la curva IDF con el fin de tener una proyección de valores para diferentes tiempos de concentración en la cuenca de interés.

Tabla 48

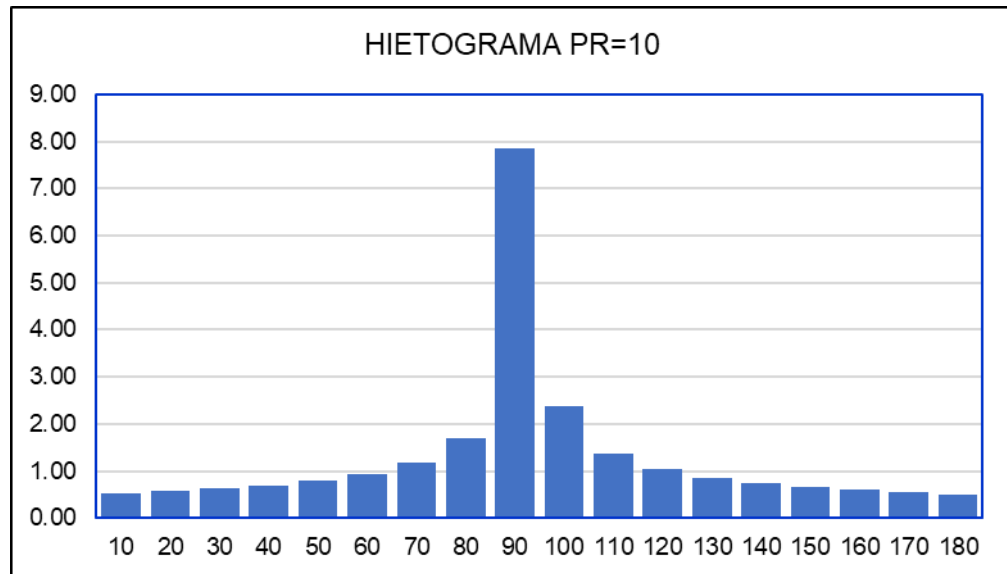
Intensidades para PR=10 años

TORMENTA DE DISEÑO							
PERIODO DE RETORNO	10 años	DURACIÓN DE TORMENTA	3.00 hrs	180 min	INTENSIDAD DE LLUVIA	7.876	P24hr (mm)
INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
10	47.073	7.846	7.846	47.073	0.528	3.171	0.528
20	30.659	10.220	2.374	14.245	0.572	3.434	1.101
30	23.858	11.929	1.709	10.256	0.628	3.765	1.728
40	19.969	13.313	1.383	8.301	0.699	4.194	2.427
50	17.394	14.495	1.183	7.096	0.797	4.781	3.224
60	15.539	15.539	1.044	6.263	0.941	5.646	4.165
70	14.126	16.480	0.941	5.646	1.183	7.096	5.348
80	13.006	17.341	0.861	5.167	1.709	10.256	7.057
90	12.092	18.138	0.797	4.781	7.846	47.073	14.903
100	11.329	18.882	0.744	4.462	2.374	14.245	17.277
110	10.680	19.581	0.699	4.194	1.383	8.301	18.660
120	10.121	20.242	0.661	3.964	1.044	6.263	19.704
130	9.632	20.869	0.628	3.765	0.861	5.167	20.565
140	9.200	21.467	0.598	3.590	0.744	4.462	21.309
150	8.816	22.040	0.572	3.434	0.661	3.964	21.970
160	8.471	22.589	0.549	3.296	0.598	3.590	22.568
170	8.159	23.117	0.528	3.171	0.549	3.296	23.117
180	7.876	23.627	0.510	3.057	0.510	3.057	23.627

Nota. Con la elaboración de las curvas IDF se logró estimar que para un periodo de retorno se tendrá una intensidad máxima de 7.846 mm en un periodo de concentración de 180 min, este valor sirvió para elaborar el hietograma de intensidad con el cual se determinó el caudal de interés.

Figura 52

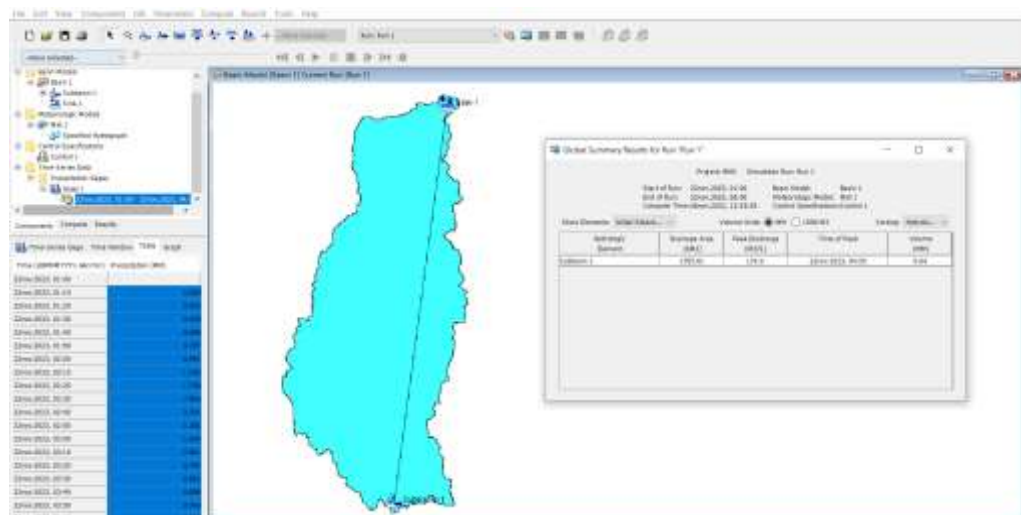
Hietograma de intensidades PR=10



Nota. Definido el tiempo de concentración de 180 min se pudo elaborar a partir de bloques alternos el hietograma de intensidades teniendo así que para una duración de 90 min la intensidad es de 7.85.

Figura 53

Modelo HEC-HMS



Nota. Con la caracterización geomorfológica de la cuenca la estimación de los valores hidrológicos de la cuenca se elaboró el modelo en el software HEC-HMS con la finalidad de estimar el valor de caudal para el análisis a partir de la metodología del número de curva, para un periodo de retorno de 10 años el caudal estimado fue de 174.0 m³/s.

Tabla 49*Caudales Thiessen*

CAUDAL CALCULADO		
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS	MET RACIONAL
10	174.00	146.34

Nota. Para la cuenca delimitada se aplicó como un valor referencial de caudal el estimado a partir del método racional, dicha metodología dio como resultado un caudal de 146.34 m³/s siendo un valor alejado al estimado por la metodología del número de curva.

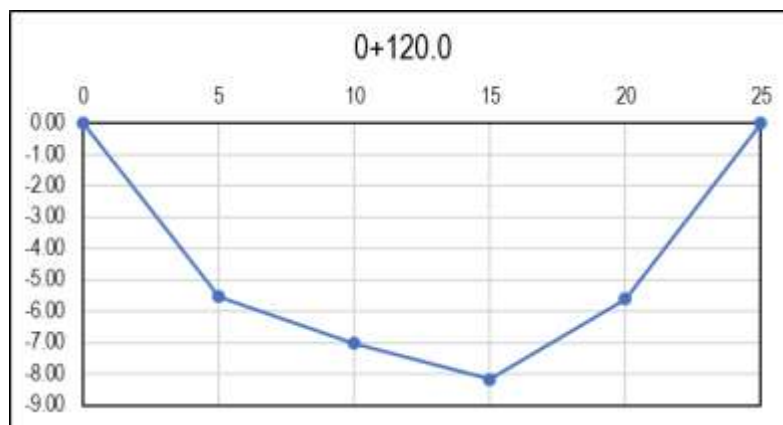
4.1.7. AFORO EN CAUCE

La metodología seleccionada para la estimación de caudales en el cauce In Situ fue la del aforado, se tomaron medidas en el cauce con el fin de aproximar el área de sección en diferentes progresivas del área de interés focal, con lo cual se pudo determinar lo siguiente:

Tabla 50*Tabla de aforos*

AFORO DE CAUCE					
PROGRESIVA	M1	M2	M3	M4	ÁREA
0+020.0	5.10	6.32	8.16	5.41	124.96
0+120.0	5.54	7.03	8.16	5.61	131.66
0+240.0	5.60	7.44	8.46	5.74	136.19
0+360.0	5.32	7.14	8.57	5.36	131.99
0+480.0	5.25	6.37	7.93	5.72	126.35
0+600.0	5.34	7.31	8.71	5.75	135.51

Nota. Del cauce de análisis se tomaron en total en 6 progresivas, en las cuales se tomaron 4 medidas de profundidad, y a partir de aproximaciones se determinaron los valores de área aproximada, dando así que para la progresiva 0+120 el área de la sección es de 131.66 m².

Figura 54*Sección 0+120*

Nota. En total el ancho del cauce se tomó en promedio de 25 m divididos cada 5 metros, con ello se pudo identificar por ejemplo para la cuarta medida la profundidad fue de 5.61 m en la progresiva 0+120.

Tabla 51*Estimación de caudales*

CAUDAL DE AFORO DE CAUCE			
ITEM	Vprom	Área	Q
1	2.19	131.66	66.92
2	2.57	136.19	69.38
3	2.59	131.99	67.29
4	2.59	126.35	64.47
5	2.60	135.51	69.06
PROMEDIO			67.42

Nota. Estimadas las áreas y con los valores de velocidad de transporte de caudal se estimaron caudales para cada una de las secciones con lo cual se calculó un promedio del cual se pudo estimar que para la medición que se hizo en el cauce se estimó un caudal de 67.42 m³/s.

4.1.8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 52*Valores de caudales*

COMPARACIÓN DE CAUDALES		
MÉTODO	CAUDAL KRIGING (m ³ /s)	CAUDAL THIESSEN (m ³ /s)
SCS NC	71.80	174.00
RACIONAL	87.32	146.34
AFORO	67.42	67.42

Nota. En la tabla anterior se muestran los valores estimados de caudal por cada uno de los métodos aplicados en la presente investigación teniendo como resultado que por

el método de Kriging se tiene un caudal de 71.80 m³/s y por el método de Thiessen el valor del caudal es de 174 m³/s siendo 2.42 veces más lo determinado por la metodología de Thiessen.

Tabla 53

Comparación de resultados

COMPARACIÓN DE CAUDALES		
MÉTODO	CAUDAL KRIGING (m³/s)	CAUDAL THIESSEN (m³/s)
SCS NC (% Variac)	6.49%	158.07%

Nota. De los valores obtenidos se puede decir que la variación del modelo de Kriging es de 6.49% y el de Thiessen es del 158.07% con respecto al caudal aforado en el cauce del río Huallaga dando, así como el modelo más preciso al modelo de estimación de Kriging.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hp: La aplicación de la metodología de interpolación de precipitación, específicamente mediante las técnicas de Kriging y Thiessen, permite inferir que la precisión de la interpolación es superior cuando se emplea la metodología de Kriging.

La información recopilada en esta investigación con relación a las precipitaciones de las estaciones cercanas a la cuenca de interés, se enlistaron de la siguiente manera:

Tabla 54

Ubicación de estaciones pluviométricas

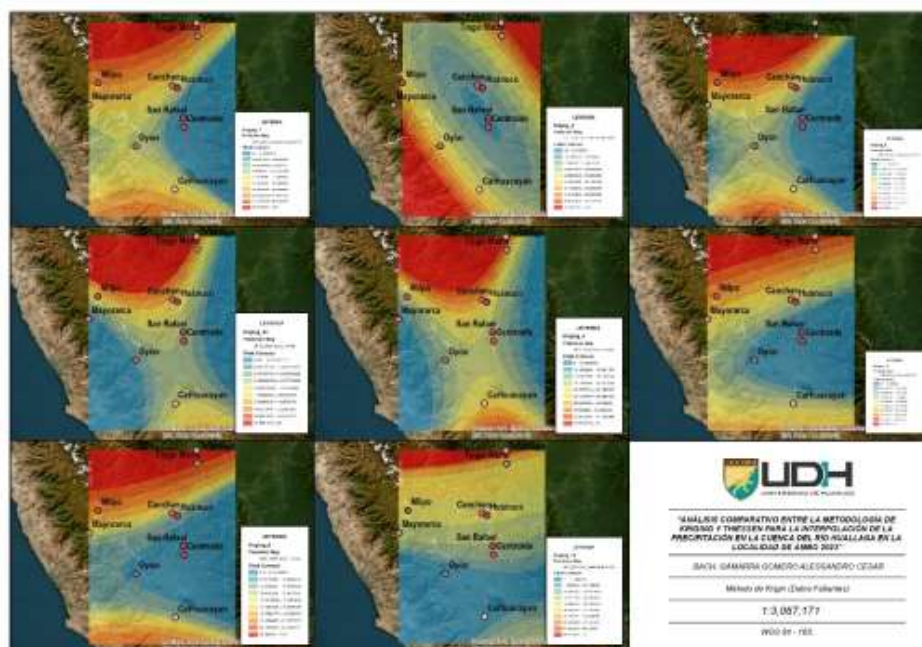
UBICACIÓN DE ESTACIONES			
NOMBRE	NORTE	ESTE	ALTITUD
MAYORARCA	8876214.90	242629.10	3335.00
RICRAN	8724257.00	442502.10	3674.00
CARHUACAYAN	8761305.20	359702.30	4127.00
OYÓN	8820210.80	306538.10	3652.00
MILPO	8906667.00	255091.10	4400.00
TINGO MARÍA	8970701.20	390121.00	657.00
TULUMAYO	8988734.40	389088.50	612.00
SAN RAFAEL	8857946.90	371175.10	2699.00
CANCHÁN	8903044.50	356425.50	1986.00
HUÁNUCO	8899635.60	363133.60	1919.00

De la tabla presentada se identificó que 10 del total de estaciones con la que cuenta el Perú son cercanas a la cuenca de interés, con esta información se completaron las fichas de precipitación, de las fichas completadas se pudo

identificar que no tienen un registro completo, para lo cual se plantearon los métodos de interpolación de Kriging y Thiessen.

Figura 55

Mapas de Kriging para datos faltantes



Cada una de las estaciones fue sometida a la interpolación por las metodologías de Kriging y Thiessen, con esto se completaron las series históricas de precipitación, la misma metodología fue aplicada para la estimación de precipitaciones en el centroide de la cuenca de interés.

Interpolación al centroide Estación Thiessen



Con los valores interpolados en ambas metodologías para el centroide de la cuenca se lograron calcular los valores de precipitación para la cuenca de interés, esta información fue sometida a una prueba de datos anómalos, con esto se verificó la consistencia de valores de precipitación.

Precipitaciones por periodos de retorno

PRECIPITACIONES MÁXIMAS	
PERIODO DE RETORNO	PP
2	20.71
5	24.4
10	27.19
25	31.19
50	34.52
100	38.19
105	38.46
500	48.21
1000	53.3
10000	74.34

Los valores estimados de precipitación fueron sometidos a una prueba de distribución de bondad con la cual se puedan estimar los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno el cual se muestra en la tabla,

con esto se dio pase al cálculo de los valores de caudal para un periodo de retorno de 10 años.

Tabla 56

Valores de caudales

COMPARACIÓN DE CAUDALES		
MÉTODO	CAUDAL KRIGING (m3/s)	CAUDAL THIESSEN (m3/s)
SCS NC	71.80	174.00
RACIONAL	87.32	146.34
AFORO	67.42	67.42

Con cada una de las metodologías se estimaron los valores de caudal para un periodo de retorno de 10 años, dicho valor fue comparado con la estimación del aforo del río Huallaga, de dicha caracterización se pudo determinar que los valores más cercanos al aforo del cauce fue el de la metodología de Kriging.

A partir de los resultados obtenidos se pudo determinar que la hipótesis que establece que la metodología de Kriging es mejor que la metodología de Thiessen para la interpolación de valores de lluvia es verdadera.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para (Aragón, 2019), en la construcción del modelo para la mesa hidrológica, se logró obtener un valor de precipitación muy similar al obtenido mediante la aplicación de la metodología de las isoyetas, al emplear un valor exponencial de 13. Para el modelo desarrollado para la cuenca del río Sabinal, con un valor exponencial de 11, se logró obtener un error de aproximadamente un 0.04%, calculado a partir de la precipitación media. En la implementación de la metodología Kriging simplificado en ambos modelos, se aplicaron factores de ajuste en los variogramas teóricos. Los ajustes óptimos se lograron mediante las metodologías de Gauss y Esférico para la cuenca del río Sabinal y la mesa hidrológica, respectivamente. Los resultados de la investigación permitieron llegar a la conclusión de que, en el contexto de la mesa hidrológica, el método más apropiado para la distribución espacial de la lluvia es el de Kriging, con un nivel de confianza del 60% en los valores obtenidos. En cuanto a la cuenca del río Sabinal, se estimó que el método de Kriging proporciona valores óptimos con una confiabilidad del 95%, en comparación con otras metodologías consideradas. Para esta investigación solo se tomaron 2 metodologías de interpolación, los polígonos de Thiessen y la metodología de Kriging, estos dieron un valor de confiabilidad de 94% en el caso de la estimación por el método de Kriging, teniendo en cuenta que para la cuenca del río Huallaga se consideraron en análisis un total de 10 estaciones circundantes a la delimitación de la cuenca. Las variaciones en los resultados comparados deben a que la extensión de la cuenca es diferente y la cantidad de estaciones tomadas en cuenta para cada una de las cuencas fueron diferentes teniendo una mayor cantidad en la presente investigación. Para (Herrera, 2018), las medias de las precipitaciones registradas fueron de 1129 mm, 606 mm y 345 mm para las estaciones G. Porcón, Augusto Weberbauer y La Victoria, respectivamente. En términos generales para la cuenca, se calculó un promedio anual de precipitación de 693.65 mm, con una desviación estándar de 326.09 mm. Dadas las condiciones de la cuenca y los valores de precipitación, la aplicación de la metodología del promedio

aritmético en la zona no es viable, ya que la dispersión con respecto al promedio no supera el 10%. Teniendo en cuenta también la metodología de los polígonos de Thiessen para la cuenca de interés no se pudo elaborar un modelo debido a la falta de información variada en la superficie que se tomó en cuenta para la investigación. Para la presente investigación se pudo estimar que a partir de la metodología de Thiessen la precipitación máxima en promedio es de 32.87 mm con una desviación de 10.23 mm, estos valores son de diferente magnitud debido a que el cauce planteado por Herrera es más amplio que el estimado para la presente investigación, dando así la respuesta a las diferencia de precipitación estimadas, si bien para la presente investigación si se pudo caracterizar la precipitación por polígonos de Thiessen esto se explica por la cantidad de estaciones tomadas en cuenta para la presente investigación.

CONCLUSIONES

De los valores obtenidos se puede decir que la variación del modelo de Kriging es de 6.49% y el de Thiessen es del 158.07% con respecto al caudal aforado en el cauce del río Huallaga dando, así como el modelo más preciso al modelo de estimación de Kriging.

Los valores de precipitación estimados a partir de la metodología Kriging tuvo un promedio de 21.72 mm, en total de la serie de datos la sumatoria de los valores fue de 391.02 mm, se identificó también que la serie presenta una varianza del 19.18 mm a partir de la media calculada.

Los valores de precipitación estimados a partir de la metodología Thiessen tuvo un promedio de 32.87 mm, en total de la serie de datos la sumatoria de los valores fue de 591.60 mm, se identificó también que la serie presenta una varianza del 104.59 mm a partir de la media calculada.

El caudal estimado por las metodologías de Kriging y Thiessen fueron de 71.80 m³/s y 174 m³/s respectivamente, estos valores fueron comparados con los valores aforados en el cauce, dicho valor aforado se estimó en 67.42 m³/s, la variación de caudales va desde 6.49% al 158.07% para las metodologías de Kriging y Thiessen respectivamente.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere priorizar la aplicación del modelo de Kriging para la estimación del caudal en el cauce del río Huallaga, ya que presenta una variación significativamente menor en comparación con el modelo de Thiessen. Esta elección podría mejorar la precisión de las estimaciones y proporcionar resultados más confiables en futuros estudios hidrológicos en la misma área.

Considerando los resultados de la estimación de precipitación mediante la metodología Kriging, se sugiere realizar un análisis detallado de la serie de datos para comprender las variaciones y patrones temporales. Además, se recomienda llevar a cabo validaciones adicionales utilizando datos observados para evaluar la precisión del modelo Kriging en la estimación de la precipitación. Esta validación contribuirá a mejorar la confiabilidad de las estimaciones y proporcionará una base más sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la gestión del recurso hídrico.

Dada la estimación de precipitación utilizando la metodología Thiessen, se sugiere realizar una evaluación adicional de la precisión del modelo mediante la comparación con datos observados, si están disponibles. Este análisis permitirá validar la capacidad predictiva del método Thiessen y proporcionará información valiosa sobre la confiabilidad de las estimaciones. Además, se recomienda explorar la posibilidad de ajustar parámetros o considerar enfoques alternativos para mejorar la precisión del modelo Thiessen en la estimación de la precipitación, especialmente teniendo en cuenta la varianza identificada en la serie de datos.

A la luz de las diferencias significativas entre los caudales estimados por las metodologías de Kriging y Thiessen en comparación con los valores aforados, se sugiere realizar un análisis detallado de los factores que podrían estar contribuyendo a estas disparidades. Además, sería beneficioso incorporar más puntos de aforo en el cauce del río para mejorar la representación espacial y temporal de las condiciones hidrológicas. Este análisis más profundo permitirá obtener estimaciones más precisas y

confiables del caudal, crucial para la gestión adecuada de los recursos hídricos en la zona de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha, N. (2022). *Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en la provincia de Leoncio Parado, región Huánuco*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Advincula, N. (2019). *Factores de riesgo ante el peligro por lluvias intensas en el asentamiento humano San Luis sector III, IV, V del distrito de Amarilis, Huánuco*. Universidad de Huánuco.
- Aparicio, M. (2002). *Fundamentos de hidrología de superficie*. LIMUSA.
- Aragón, J. (2019). *Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación*. Ingeniería Investigación y Tecnología.
- Cano, L. (2020). *Estudio Hidrológico Cuenca Altavista*. Universidad de Antioquia.
- Chow, V. (1994). *Hidraulica Aplicada*. Colombia: Mc GRAW HILL.
- Consorcio Pomca Quindío. (2014). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. CARDER.
- Gleason, J. (2017). *La gestión sustentable del agua en la arquitectura y urbanismo*. Universidad de Guadalajara.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL.
- Herrera, J. (2018). *Niveles de precipitaciones proyectadas en la cuenca del valle de Cajamarca para un horizonte de 10 años, que permita identificar zonas de riesgo*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Ibarra, A. (2022). *Propuesta de diseño de infraestructura hidráulica y sistemas de alerta temprana para reducir los registros por inundaciones en la zona El Saltadero, provincia de Los Ríos*. Universidad de Guayaquil.
- López, J. (2017). *Análisis comparativo de métodos tradicionales y un método geoestadístico tipo Kriging para la estimación de precipitación areal y sus implicaciones en la modelación hidrológica: Cuenca del río Ayuquila*. Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático.

- Madrid, H. (2019). *Estimación de precipitación superficial utilizando 5 métodos como base para la determinación del balance hídrico en la cuenca media y alta del Mantaro*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Malo, C. (2015). *IERSE 30*. Universidad de Azuay.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Alfaomega.
- Ordoñez, J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima.
- Rojas, H. (2021). *Pronóstico de las áreas de inundación en el casco urbano del municipio de Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la cuenca quebrada Negra y río Negro*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Santos, I. (2021). *Modelo hidráulico para delimitación de faja marginal río Caplina sector río Seco, Distrito G. Albarracín, Tacna*. Universidad Privada de Tacna.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. MaxSoft.
- Villón, M. (2008). *Hidrología estadística*. Instituto tecnológico de Costa Rica.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Gamarra Gomero, A. (2024). *Análisis comparativo entre la metodología de Kriging y Thiessen para la interpolación de la precipitación en la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 57

Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Técnica
¿Qué método es el óptimo para la estimación de precipitaciones interpoladas entre la metodología Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?	Determinar el método óptimo para la estimación de precipitaciones interpoladas entre la metodología Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.	La aplicación de la metodología de interpolación de precipitación, específicamente mediante las técnicas de Kriging y Thiessen, permite inferir que la precisión de la interpolación es superior cuando se emplea la metodología de Kriging.	▪ Metodologías de Estimación de Precipitaciones ▪ Análisis Numérico y Estadístico ▪ Ajuste de Parámetros ▪ Análisis Espacial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos		Instrumentos
¿Cuáles son los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Kriging para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?	Calcular los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Kriging para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.		▪ Instrumentos de Medición Hidrológica
¿Cuáles son los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?	Calcular los valores de precipitación interpoladas a partir de la metodología Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.		▪ Instrumentos para Análisis Numérico y Estadístico
	Identificar como varían los valores de caudal de diseño aplicando las metodologías de Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo.		▪ Instrumentos para Ajuste de Parámetro

¿Cómo varían los valores de caudal de diseño aplicando las metodologías de Kriging y Thiessen para la cuenca del río Huallaga en la localidad de Ambo?

▪ Instrumentos de Análisis Espacial

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES
Tipo de Investigación: Cuantitativo	Población: Se plantea para la investigación que la población son las 370 estaciones meteorológicas con las que cuenta el Perú.	Variable Dependiente Precisión de precipitaciones interpoladas.
Alcance de Investigación: Correlacional.	Muestra: Se plantea para la investigación que la muestra son 10 estaciones las cuales se encuentran en las cercanías de la cuenca de interés.	Variable Independiente Métodos de interpolación de precipitación Kriging y Thiessen
Diseño: No Experimental.		

ANEXO 2
EVIDENCIAS

Figura 57

Ubicación de la zona de investigación



Tabla 58

Ficha de registros históricos Estación Ricran

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1275743.00			ESTE	442502.10			ALTITUD	3674.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN RICRAN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1965				13.2	2.7	0	1.2	5.8	7.9	8.8	16.1	18.9
1966	61.4	21.2	9.9	15	7.3	0	0	3.2	14	23.9	15.1	22.1
1967	13.2	20	9	8	6.3	11	7.5	4.2	2	16.5	12	18.1
1968	23	26.1	23.3	6.2	-99.9	5.2	8.4	12.1	14	4.5	9	23.9
1969	23.4	24.5	17.5	18	6	7.4	3.4	4.6	8.9	9.7	7.1	13.7
1970	24.7	16.2	10.8	15.8	5.2	5.2	10.4	2.8	6.4	19.8	9.7	9.9
1971	22.5	12.1	13.6	10.6	10.4	0	3.5	4.2	4.2	-99.9	-99.9	31.7
1972	14.4	34.3	19.3	19.1	9.6	0	3.1	1.7	4.6	16.4	15.4	16.5
1973	9.4	22	19.3	13.5	1.4	4.2	8.4	6.2	9.7	13.6	6.7	21.9
1974	24.6	22	18.8	13.9	0	7.1	5.7	4.7	6.7	19.8	10.9	13.8
1975	14.6	14.7	25.1	10.7	7	0.01	3.9	9.4	17.6	20.2	9.1	29.5
1976	14.8	15.9	10.8	4.3	3.3	2.2	0.9	7.5	9.5	9.6	2.2	2.8
1977	4.8	5.8	9.9		4.2	1	1	3.8	3.6	6.8	15	9
1978	5.5	7.2	0.2	0.3	4.2	0.3	0.4	0	6.2	15.8	7.6	6.2
1979	13.8	14.1	16.1	6.4	3.3	0	1.4	0	4.5	5.7	4.7	8.9
1980	4.2	11	10.5	9.2	0.4	0.7	2.4	1.7	2	8.8	12.5	10.2
1981	11.5	43.7	36.8	14.5	3.1	6.1	1.4	13.3	3.4	8.6	17.8	13
1982	12.4	15.1	10.4	9.4	5.3	2	1.2	4.5	12.2	10.9	11.8	12.6
1983	7.5	9.6	8.6	-99.9	2.1	2.1	4.4	6.5	5.6	7.7	11	7.6
1984	7.4	9.3	7.8	-99.9	8.1	4.8	5.6	2.7	6.7	8.6	12.9	12.2
1985	11.7	11.1	12.9	11.4	10.4	9.7	6.1	5.5	10.9	5.5	7.6	20.1
1986	18.5	27.8	15	12.7	8.8	3.4	3.7	8.9	9.5	6.8	5.2	5.1
1987	-99.9	9.5	11.9	4.5	4.2	4.1	5.6	2.3	4.1	7.1	11.3	8
1988	8.5	13.1	13.2	5.3	5.4	2.4	2.4	4.6	5.1	7.3	8.5	9.1
1989	12.9	9.7	17.1	13	6.2	9.5	4	6.1	10.1	17.4	13.6	7.4
1990	15.7	7.4	10.8	6.5	8.7	10	6.1	14	12.4	15.7	12.5	14.4
1991	14.6	19.1	-99.9	11.4	13.2	6.7	4.2	3.5	12.2	8.9	3.2	9.9
1992	12.9	10.5	13.1	8.3	2.5	5.6	3.4	9.8	4.3	12.3	11.6	10.4
1993	24.4	12.3	20.8	8.4	4.2	0	1.2	11.8	7	5.5	21.1	18.4
1994	12.3	15.3	15.5	14	7.3	4.1	2.4	2.4	14.2	11.7	8.5	13
1995	16	17.3	32.2	11	8.8	2.4	8.4	3.1	10.1	12.2	15.9	20.8
1996	27.5	19.8	12.4	7.8	4.1	1.1	2.6	3.2	5.8	8.4	16.1	12.8
1997	18.6	16.2	7.3	7.6	12	2.4	0	4.7	5.5	11.7	15.8	23.4
1998	17.6	23.2	18.4	5.2	0	2.8	0	1	3.2	17.7	21	13.7
1999	15.4	38.1	19.1	19.4	10.3	4.7	1.1	0.2	7.6	14	8.7	12.3
2000	14.4	19.1	18.4	9.2	3.9	3.6	2.6	10	9.3	19	14	25.4
2001	27.1	13.9	18.8	21.6	8.6	3.1	3.5	8.2	11.2	16.4	17.8	24
2002	7.1	24.8	18.9	17.8	4.4	4.1	8.1	2.8	8	26.1	13.7	33.1
2003	11.2	10	27.2	13.1	8.5	1.4	1.3	5.1	3.8	8.8	14.6	31.2
2004	10	28	12.8	20.5	9.6	6.2	11.8	9.8	12	7.2	13.3	12.8
2005	14.7	15.9	22.9	9.8	4	0	1	2	1.9	12.8	10	15.6
2006	26	8.7	12.5	11.4	1.7	6	8.4	6.5	14	12.4	19	27.6
2007	28.8	19	12.8	8.7	5.8	0	5.7	4.8	4	14.5	17.7	20.8
2008	17.9	15.8	11.8	15.7	6.4	7.8	1.2	4	16.6	23.7	8.4	30
2009	18	8.8	20.3	23.6	12.3	6	5	4	20.9	17.9	12.9	20.7
2010	12.5	16.7	15.6	16.4	6.2	3.4	1	3.6	11.4	16.4	6.7	26
2011	20.2	24.7	22.6	16.2	5	0.5	3	1.6	7.7	33.2	27.3	28.5
2012	40.8	16.4	14	15.2	3.5	2.8	3.6	4	13.5	13.5	25.7	18.2
2013	21.8	28.3	11.8	12.8	8.9	5.5	3	13	3.7	14.6	20.5	15
2014	24.7	19	17.2	11.1	4.2							

Tabla 59

Ficha de registros históricos Estación Carhuacayan

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS													
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)													
NORTE	1238694.80		ESTE	359702.30		ALTITUD							4127.00
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN CARHUACAYAN													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1968												22.8	
1969	18.1	22.8	14.6	19.7	16	6.4	2.8	5.1	9.3	21.5	17.7	18.1	
1970	43.9	30.7	21.5	24.9	12.2	11.1	6.9	13	13.2	20.5	17.5	23.6	
1971	8.5	25.5	15.2	9.8	6.4	2.7	3.5	26.5	14.2	27.5	10.8	17.9	
1972	14.9	19.9	27.8	22.3	3.4	1.9	10.3	2.9	15.9	28.1	14.4	13.7	
1973	19.4	26.6	18.3	13.8	4.8	6.1	17.1	9.9	19.6	21.1	22.8	18.6	
1974	18.4	29.9	14.5	12.4	3.2	6.2	7.9	10.9	10.5	17.3	13.4	16.9	
1975	13.4	18.5	24.8	12.9	16.4	10.6	13.6	10	-99.9	14.4	14.9	11.2	
1976	25.4	18.6	19.5	17.7	16.3	8.9	3.4	12.5	-99.9	4.8	18.1	7.3	
1977	17.4	29.7	7.2	-99.9	5.6	3.8	2.9	5.1	26.1	6.1	22.5	23.8	
1978	16.7	17	12.2	22.1	13.5	9.4	9.8	20.2	16.1	38.8	21.5	16.2	
1979	18.5	20.2	21.8	13.8	6.8	0	0	8.9	29.8	26.5	29.3	30.2	
1980	19.6	21.1	25.4	3.5	22.6	0	2.3	3.6	4	30.7	25.4	16.9	
1981	34.7	17.9	8.5	10.3	0	0	8.1	0	6.6	15	14.2	8.9	
1982	15.3	-	-	-99.9	-	-	-	-	-99.9	-	-	-	
		99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	
1983	-	-	-	-99.9	-	-	-	-	-99.9	-	-	-	
	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	
1984	-	-	-	-99.9	-	-	-	-	-99.9	-	-	-	
	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	
1985	-	-	-	-99.9	-	-	-	-	-99.9	0	10.5	20.7	
	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	99.9					
1986	15.8	19.5	12.3	17.4	19	0	7	12.8	11.7	6.7	9.5	15.5	
1987	15.1	17.5	13	6.5	7.5	5.7	6	3.7	3.5	7.3	7	5.5	
1988	18.1	10	7.5	7	3.9	2.3	0	0	0	9.6	5.4	0	
1989	18	16.1	14.1	4.9	4.5	1.2	1.6	0	1.5	4.2	4.7	6.5	
1990	4.7	5.4	3.5	2	5	3.7	2.7	2.5	15	5	8.5	6	
1991	8	5.1	23.3	4	2.2	6.7	1.7	0	13.3	11	14.6	9	
1992	2.5	14.4	19	13.5	1.8	3.4	1.2	0	0	18.1	9.2	9	
1993	16	19.7	15	18.6	6.8	1.6	1.2	6	14.6	10.2	18.4	17	
1994	15.6	5.6	16.8	15	4.5	2.1	13.4	12.6	3	16.3	18.1	9.3	
1995	12.6	10.2	10.6	14.7	3.6	0	0	3.1	5.5	11	14.3	19.9	
1996	8.3	7.5	10	16.6	5.5	1	0.4	3.3	3.2	4.8	8.6	10	
1997	13.8	18.4	10.5	8.6	2.1	4.4	4.8	0	16.3	4.1	11.6	10	
1998	7.3	15	15.2	10	17.5	1.5	0	0	13	7	4.3	8	
1999	20	24.4	20	13.6	6.8	3	6.5	1.8	17.8	17.6	8.9	9	
2000	30.2	26.5	19.3	10.1	8	1.5	3.8	5.6	4	17.5	27.1	19.4	
2001	15.7	14.8	21.8	20	6.1	2.7	2.5	5.8	30.5	11.9	11.5	17.3	
2002	15.9	78.5	24.1	30.5	10.5	14.9	3.5	2.8	11.5	-	20.6	20	
										99.9			
2003	14	13.8	27	37.9	6.9	11.6	0	4	22.5	11.7	9.5	25.3	
2004	13.5	33.5	18.5	13	33	10.3	5.2	36	12.1	28.8	12	19.8	
2005	12	28	15.2	9.3	10	0.6	0	9	8.5	13.1	24.4	13	
2006	23	18.4	16.3	17	10	16.5	4	10.8	12	21.8	10	44	
2007	20.1	36.2	23.3	21.6	25	0	0	1.5	7.1	22.3	15	24.5	
2008	14.4	10	18.8	9.6	1.4	1.8	1	5.8	8.8	27	6	10.5	
2009	13.2	18.5	35.7	12.7	12.7	1.2	2.4	7.2	7	10.5	19	11	
2010	24.5	18.2	14	10.8	8	3.7	3.2	7.6	6.9	12.6	17.1	24	
2011	8.6	38.2	12.5	12.8	31	0	6	13.2	19	7.8	13.8	21	

2012	21	23.3	14.6	16	9	1.6	5.5	20	23.2	15.3	10.3	-
2013	17.7	26.1	21.5	10	12	10	6.8	15	18	11	14	99.9
2014	19.8											21

Tabla 60

Ficha de registros históricos Estación Oyón

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1179789.20		ESTE	306538.10				ALTITUD	3652.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN OYÓN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1963									7.1	3.1	13.2	11.2
1964	12.6	18.6	14.3	5.2	10.8	0.1	0.1	2	2.8	9	17.2	7.6
1965	12.4	18	13.6	11	1	0	2	0.1	7.7	5	11.2	28.2
1966	12.5	16	13.7	12	1.8	0	0	0	11.4	14.3	10.6	22.6
1967	16	20.1	20.2									
1968	10.5	11.4	16.8	1.8	1.9	0.9	2.4	9.2	5.5	9.2	11.9	10.3
1969	10.6	15.7	12.1	12.8	3.8	2	2.4	9.6	4	8	14	23.8
1970	13.5	16.2	18.7	11.2	12.9	1	2.5	3.2	15.8	15.5	13.5	17.9
1971	10.8	13.7	12.6	11.4	4.4	1.4	0.3	7.5	1.6	12	7.4	13.5
1972	10.1	16.4	26.4	15.4	0.1	0	0	11.7	7	6.8	13.8	11.5
1973	14.7	28.2	15.4	14.8	21.4	1.3	5.3	5.4	12.6	5.6	8	11.9
1974	22.5	19.5	13.4	4.7	1	1.4	0.8	8.5	2.2	7.4	8.5	14.4
1975	24.1	18.2	26.5	17.5	6	0	0	6	13.2	10.5	10.4	3.8
1976	14.8	20.1	17.5	20.1	2.3	2.6	1.5	4.8	4.8	2.8	11.2	21.7
1977	15.3	17	10	10.1	17.5	0.8	1.3	0.4	12.8	3.8	12.7	14.2
1978	17.2	16.6	9.2	10	2.2	0	3.1	2.8	5.6	12.3	14.8	6.9
1979	20.1	15.2	19	11.8	3.1	0	0	0	3.9	9.2	5.6	3.3
1980	12	14.5	15	3.1	4	1.2	0.8	0	2.8	20.2	13.4	19.6
1981	29.8	18.4	24.1	0	0	0	0	3.7	0	18.1	5.7	12.4
1982	10.3	15.1	19.2	16.4		0	4.3	0	0	7.7	7.7	23
1983	21.8	9	13.3	12.8	0	0	0	0	2.2			
1984												
1985												
1986							3.5	6.2	6.3	9.4	7	21.6
1987	10.8	16.1	13.9	8.3	1.7	0	5.3	3	7	5.6	12.2	13.2
1988	16.4	10.2	13.1	9.5	8.6	0	0	0	7.6	7.9	6.4	14.7
1989	21.8	17.6	17.2	14	10	3.5	0	2	6	7.9	5.2	4.3
1990	6.4	11.1	15.2	4.4	2.9	1	0	0	1	24.9	10.7	20.4
1991	6.6	11.2	8.8	6.1	0.9	0	0	0	0	0	4.7	5.2
1992	10.5	6.2	9.6	12.5	1.8	2.2	0	0.4	6.6	6.5	5.6	7
1993	17.3	10.9	14	13.7	0.8	0	0	0	5.4	8.3	11.6	15.1
1994	15.3	13.2	16	12	7.3	1.7	1.9	0.4	12	7.1	15.1	7.2
1995	18.5	8.2	19.8	15.6	3.4	5.1	1.2	4.4	3.8	8.3	11.7	22.1
1996	14.3	13.1	23.7	11.7	2.9	0	0	2	4.2	15	8.4	15.5
1997	17.6	19.6	9.6	7.1	0	0	0	0	7	6.6	10.4	14.4
1998	15.7	13.4	17.5	10.2	2	2.5	0	0	4.6	19.5	15	10
1999	14.2	22.5	12.6	10.2	7.4	0	1.5	0	11	17.6	14.4	15.4
2000	12.5	19.8	11.2	13.8	6.4	0	1.2	2.3	12	20.3	18.8	19.4
2001	17	9.6	19.5	18.9	4.1	5.9	0	0	9.1	17.1	17.9	17.9
2002	22.1	14.2	16.7	8.4	5.1	1	0	1.8	4.7	18.6	13.7	14
2003	15.4	26.6	17.1	6.8	0	0	0	1.3	6.5	15.8	3.7	9.4
2004	9.9	16.6	8.8		0	3.6	0	0	8.9	11.2	15	10.1
2005		10.2	15.9	1.8	2.2	0	0	2.7	0.5	8	9.2	12.3
2006	14	20.6	11.8		0.3	6.2	0	3.3	2.3	6.7	20.1	13.4
2007	13.9	21.7	21.3	16.1	22.2	0	0	0	6.7	13.5	9.1	15
2008	15.2	20.7	18.9	17.5	0	2.5	0	0	2.8	13.2	3.2	20.7
2009	10.8	11.3	22.2	17.4	6.6	0	1.5	2.7	3.9	10.5	12.3	12.8

2010	17.6	14.7	12.8	8.2	0	1.2	0	0	3.1	11.8	8.1	29.6
2011	16.3	11.1	17.9	16.3	2.8	0.6		0	3.4	7.8	22.8	17.4
2012	17.6	18.5	13.4	17	1.1	1.5	0	0	14.3	8.9	10.3	12.5
2013	14.3	2.8			4							

Tabla 61

Ficha de registros históricos Estación Milpo

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1093333.00		ESTE	255091.10		ALTITUD	4400.00					
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN MILPO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980							0	6	0	0	5.5	8
1981	18.4	19.2	16.7	10.1	7	7.7	3	9.2	7	10.5	16.5	13.5
1982	12				15.3	15	15.2	10	50.2	50.2	30	30
1983	13	5.6	11.6	2.6	0	0	0	0.5	0.6	0.6	0.5	10.1
1984	15.4	8.2	12.4	8.6	0	0	0	0	4.6	7.4	10	16.6
1985	10.2	10.5	8.6	11.1	0	0	0	4.2	24.7	15.2	10	18
1986	5.7	7	10.8	11.2	10.8	0.9	0	10.1	7.2	5.5	9.8	11.5
1987	18.1	14.2	12.3	13.3	5.1	0	0	2	9.9	11.3	16.8	14.5
1988	17	11.5	20	21.6	6.3	4	0	4.3	11	8.7	10.2	13.4
1989					8.1	9.8	3.4	11.1	12.7	12.9	2.7	4.8
1990	4.2	11.5	12.1	2.6	1.5	1.2	0.3	1.9	0.9	8.8	12	2.7
1991			26.8	21.3	11	9	0	10	11.3	15.5	15.5	13.3
1992	10	13	16.8	14	7.3	0.01	6.6	4.1	1.9	10.9	12.5	8
1993	16.2	22.4	22	29.7	8.8	6.4	3.7	3.7	15.5	13.5	19.5	33.5
1994	25.8	29	31.6	14.8	14.9	3.3	2.8	6.3	11.5	12.4	11.3	18
1995	28.2	18.7	23.8	12.2	15.2	5.2	3	9.8	8.1	11.4	20.2	25.3
1996	33.2	11.4	20.6	27.4	12.2	7	0.5	3.8	12.2	8.2	17.2	16.7
1997	17.6	16.8	10	6.5	9.5	0.7	9.6	9.8	14.8	9.3	11.8	25.4
1998	44.8	30	30.2	33.7	9.8	10.9	0	2.8	6.2	20	13.5	15
1999	40.8	34.2	26.4	13.5	5.9	8.1	4.4	3.4	12.8	15.1	23.1	11.9
2000	17.1	17.8	41	10.1	15.5	3.9	3.1	6.2	12.1	20	8.5	24.5
2001	23.6	18.3	28.4	4.5	7.3	2	5	0.5	10.7	16.7	20	24
2002	29.5	46.6	55.6	16.8	6.4	3.9	1.3	2	10.2	29.2	16.8	25
2003	11.3	24.6	18.8	23	7.9	3.9	9.5	2.5	12.9	10.3	14.3	22.1
2004	17	26.8	27.6	29.5	10.7	3.7	11.6	3.3	2.6	19	28.1	24.3
2005	23.7	18.6	24.6	16	25.2	1.5	4.5	6.1	3.4	24.9	28.2	21.8
2006	17.9	24.4	29.1	43.2	14.1	9.2	3.4	1.5	10.2	18.9	13.4	15.9
2007	39.4	3.2	38.9	34	12	5.2	8	13.8	1.8	26.3	24.9	23.5
2008	38.4	30.5	53.8	19.6	2.5	15.4	25.1	28.2	20.3	32.7	9	24.4
2009	34.6	26	31.2	27.6	3.6	4.4	4.2	2.8	2.6	37.2	24.4	31.2
2010	19.1	14.6	30.1	9.5	10.9	2	0.9	2.3	15.7	16.2	52.7	40.8
2011	26.5	31.8	29	18.2	4.2	2.4	7.2	4.4	75.6	27.7	40.4	98.5
2012	32.5	98.6	51.6	55.2	11.2	27.3	3	2.7	41	18.4	35.5	
2013	22.3	45.2	45.7	54	23.8	58	14.4	7.4	25.4	34.3	24.7	39.3
2014	63.1	139.9	59.9									

Tabla 62

Ficha de registros históricos Estación Tingo María

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1029298.80		ESTE	390121.00				ALTITUD	657.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN TINGO MARÍA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1940	78	44	80	91	48	80	88	32	79	64	78	91

1941	63	98	95	55	69	48	45	43.2	25	34	48	86.8
1942	69	63	79	81	67	29.3		45	22	55	73	50
1943	97	88.2	57.8	37.2	59.6	52.3			21.8	86.2	46.2	46.8
1944	58.6	61.4	68.2	68.8	15.6	40.8	52	22.6	10.8	56.8	45.8	
1945	84.8	80.2	122.6	80.1	42.1	40.5	71.1	74.6	59.5	128.0	61.1	
					9	5	1	8		1	2	
1946	54.3	57.3	66.5	45	48.8	34.3	28.4	52.2	39.45	35.48		69.5
	4					8		6				2
1947	38.2	84.1	57.4	42.0	33.8	53.4	43.9	58.8	52.5	60.5	70.4	
			5	7	5		5					
1948	70.2	105.2	111.8	90.6	57.9	58.1	75.5	14.6	45.6	88.1	80	68.9
1949		73.2	97.3	55.5	45.5	54.7	53.1	38.5	39.6	87	28.7	44
1950	73	80.4	40.7	75.8								
1951	70.5	73.5	90	28								
1952												
1953												
1954					79	20	27	25	36	40	103	36
1955	40	25	60	62	49.5	24.5	45.5	25	22	42	73.5	69
1956	83	123	73	50	58	34	28.5	33	35	65.6	73	35
1957	53.5	72.5	70.5	98		25	20	37.5	57.5	136	40	89
1958	41	94	48	111	80		49	27	45	36.5	53	53
1959	65.5	66.5	59		68	30	31	47	32	69.5	74	53
1960	73	88	93.5	66	53	14.5	23		26	58	124	54
1961	47.5	54.5	75.5	118.5	48	78	15.5	32	62.5	52	43	51
1962	68	63	64	82	145	12	25	61	40	50	48	52
1963	70	34	33	96	25	10	31	22.5	0.01	9	82	58
1964	31	66	36.5	35	50	26	23	28	25	27	25	40
1965	80	30	16	57	85	35	35	25	20	35	44	50
1966	60	60	22	31	20	12	13	12	30	40	35	65
1967	50	63	70.5	44	40	30	40	18	25.8	44.3	36.6	61.1
1968	60.2	90.4	81.5	57.3	30	10.1	40	28.1	34.7	85.9	41.8	41
1969	63.8	80.8	71.2	57.2	57.2	31.8	69.3	70	56.1	67.8	132.5	45.2
1970	101.4	37.4	124.1	107.3	68.5	46.2	27.9	48	46.2	118.5	75.5	54.5
1971	41.9	84.1	31.9	32.7	21.1	15.4	133	31.5	72	65.7	141	48.4
1972	93.2	71.2	76.2	37.5	22.9	29.5	35.6	71.6	39.7	50.3	102.2	92.6
1973	90.4	104.8	85.8	60.1	68.4	36	38	51.6	39.5	52.8	121.1	63.5
1974	70.7	72.5	52	84.7	50	50	31.6	51.3	50.2	68	84.3	51.6
1975	86.4	75.5	63	50.5	55	29.4	27.1	52.8	51.5	35.2	58.7	55
1976	53	56	51.5	55	65	23	21.3	18.9	23.1	128	83.5	86
1977	110	51	80.5	125.7	33.9	18	57.5	29	61.5	25.4	80.4	33.3
1978	45.4	31.6	49.4	51.5	61.8	19.5	61.8	31	30	50	58	54
1979	27.8	52	74.5	67.6	52	27	44.6	5	20.8	54.8	70.8	75.3
1980	68.9	81.4	36	43	35	49.9	30	29	36	45	58.7	66.5
1981	119.8	134	80	43.7	48	62	15	14	76.7	100	106	108
1982	99.7	73	94.8	78	80	41	58.8	15	63	42	58	81
1983	83	109	54	76	32	32	20	31	33	65	89	79.7
1984	68	60	60	58	80	63	66	56	45	75	59.8	21
1985	51	100	38	82	15	23	82	68	52	50	74	55.5
1986	67.3	57.8	62.6	36.8	50.8							
1987	64.5	47.2	68.1	85.7	55	31.4	36.9	22.5	23.9	76.5	85	61.2
1988	79	56.6	42.2	89	53	20.6	31.8	3.7	60.8	66.7	64	44
1989	58.4	94.4	85	84.8	18.7	35	36.8	52	43	58.2	67	34

1990	76.7	67	41.2	33	70	47.2	60	36.5	30.2	60.5	52.5	86.3
1991	98.4	21.3	58.4	67.8	32.4	33.2	27.9	16.5	20.5	42.7	68.8	72.5
1992	49.6	79.3	55.2	90	77.7	56.8	20	58	56.2	85	98.3	98
1993	104	25	27.5	62	43.4	36.3	48.3	40.5	55.9	90.5	80.7	97.4
1994	133	84.8	46.5	94.3	71.3	34.3	67.4	21.9	58.1	82.3	45.7	149.2
1995	82.3	98.4	83.7	36.2	36.3	45.3	44.2	16.9	44.5	75.3	51.3	70.7
1996	68.7	75.3	32.2	76	63.9	50	21	30	54.5	53	78	44.6
1997	55	39.7	60.4	51	50	33.7	51.3	23.7	76.2	33.6	68	99.8
1998	52.5	87	74.5	63.3	156	83	16.4	27.5	36.9	97.1	72.2	54.8
1999	57.1	78.3	82.6	66.3	116.5	52.2	48	22.3	22.7	26.1	71.8	94
2000	88.5	64.5	54.6	24.1	20.9	60.9	85.6	20.5	32.8	53.4	51.7	65.4
2001	95.9	45.8	71.8	38.7	67.7	28.3	43.3	7.4	88.3	35.5	79	43.9
2002	72.2	78.8	123.1	72.7	64.7	46.9	40.7	28.9	61.3	46	65.2	60.4
2003	33.8	106	51.7	54.6	149.7	94.6	23.5	57.1	58.4	111.2	86	103.3
2004	64.1	67.8	80	50	38.1	13.8	79.6	27.5	33.4	48.5	68.2	46.1
2005	48.8	92.6	94.7	23.3	37.5	43.7	37.5	25.7	54.3	58.7	66.8	97.5
2006	54.8	108	53	80.5	41.9	20.5	42	30.6	68.1	68.9	96	64.5
2007	70.5	35	69.8	51.5	35.8	4.9	35.5	29.1	27.8	48.3	61.8	60.9
2008	69.5	88.6	65.5	31.7	34.9	26.5	35	14.5	24.6	95.8	28.8	32.9
2009	78.2	53	48.5	55.5	65.6	27.4	35.5	34.8		34.4	41.8	56.7
2010	46	64.4	69.9	30.3	23.7	26.9	55.7	22	45.3	51.4	68.4	66.3
2011	105	66.3	85.3	64	44	37.6	21.7	26	79.6	47.2	60.5	38.8
2012	58.9	51.5	103.7	52.2	43	33.7	9.6	15.8	28.8	55.1	48.5	61.6
2013	98	104.5	65.3	115	32.4	59.7	18.8	37.8	121	69.2	44.2	53
2014	44.7	42.4	73.2	43.8					56.5	148	65.5	75.9
2015	59.8	122.5	55.7	107.7	74.8	21.8	101.2	8.7	63.1	36		

Tabla 63

Ficha de registros históricos Estación Tulumayo

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1011265.60		ESTE	389088.50		ALTITUD	612.00					
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN TULUMAYO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1965					12.7	33	29.7	18.5	38	33	66.5	
1966		15	45.6	30.2	59.5	29.3	35	24.7	32.8	45.9	66.5	41.2
1967	27.5		57	64.4	50	49.8	26.3	36.9	52.8	34.3	75.1	98.8
1968	54.8	57.9	94.7	37.9	22.3	50.3	27.1	46.2	34.8	55.8	45.6	62.7
1969	42.7	42.2	58.2	52	32.8	18	29.2	22.3	22.4	56.3	78.9	40.4
1970	57.7	61.6	47.9	35	84	57	31.6	25.6	24.2	12.4	26.8	74
1971	43	30.2	55.1	61.8	43.2	86.9	108.5	40.5	25.5	55.8	112.8	59.9
1972	44.4	87.6	35.8	53.8	34.6	28.6	57.2	112	30.5	47.2	59.7	75.2
1973	70	107.6	36.8	63.8	53.7	32.5	70	38.2	25.7	52.4	154.5	82

1974	99.8	59.3	50.4	46.4	47	27. 2	65.8	82.6	24.3	35.3	45.4	57.3
1975	53.9	52.8	47.7	38.9	62.7	49	38.4	48.3	21.2	41.4	65.1	55
1976	42.5	24.8	54.4	45.4	29.5	51. 3	30.2	17	71.7	50.8	68.4	63.6
1977	27.4	68.3	95	36.7	44.7	33. 4	64	35	61.3	41.1	85.7	50.7
1978	81.4	39.3	58.6	56.7	39	30. 4	92	26.2	30.7	55.5	44.5	58.3
1979	34	40.3	57.3	55.4	48	42. 4	38.5	39.2	22.3	41.8	45.4	49.6
1980	31.6	67	43	47.4	67.3	31. 4	17.7	37.5	37	81.6	88	80
1981	75	78.6	38	40.5	74	37. 9	29.4	15.4	53.2	53.8	63.5	133. 5
1982	61	69.3	115. 8	57.5	56.6	39	46.6	20.2	116.7	99	107	53
1983	48.8	27.4	60	65	23	43	20.5	37	19	43.1	86	66.5
1984	43	58.2	26.6	61	54.4	48. 6	15.5		15.9	21.1	59	74.7
1985	95.5	84.5	38.1	67.2	26.8	25. 5	63.2	44.4	35.2	29.8	75.1	51.3
1986	23.7	97.1	85.3	29.3	47	16. 5	16	24.6	76	79.2	30	40
1987	78.5	46.6	54.4	38.9	62.7	34	31	31	28	59	59.4	33.7
1988	34	43.5	57.3	54.4	50	23	25	10.6				
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994	53.5	52	53.5	72								
1995												
1996		36	28.3	102. 9	95.7	43. 6	4.2	19.2	25.2	55.2	65.3	71.1
1997	48.4	58.4	62.4	136	31	40. 5	21.6	43.8	51.2	49.2	110. 5	45.2
1998	63.7	109	82	67.2	113. 3	35. 8	23.2	60.8	37	65.7	27.2	65.6
1999	113. 8	60.6	74.4	17.3	67.7	26. 3	43.6	12.8	24	34	53.5	23.8
2000	47.4	57.8	63.2	34	40.9	49. 5	26.1	96.6	21.2	35.4	28.3	58.1
2001	67.8	42.4	34.6	28.4	62	42. 8	41	18.5	34.4	34.1	65.4	90.7
2002	56.3	103. 5	50.5	43.3	58	31. 3	72.5	35	12	40.3	79	
2003	41.8	72.3	60.5	126	72	36. 2	23	68.2	66	44	93	74.5
2004	70.8	31.3	60	40.2	32.3	21. 3	102. 4	22.7	22.1	32.2	50.2	45.7
2005	52.6	142	65.1	24.8	13.1	62. 5	5.5	27.7	54.7	72.7	41.6	87.7
2006	46.4	118. 6	40.8	38	38	51. 4	30.4	60	35.5	55.3	63.2	62.3
2007	60	34.7	45.2	40.8	65	20. 4	35.2	21.6	19.1	76.8	56	67
2008	34.8	43.4	45.5	68.3	37.8	36. 4	61	22.8	47.9	57.4	26.2	43
2009	62	97.6	40.8	56.7	67	33	27.8	32.7	41.1	35.5	50.7	66.3

2010	36.3	70.9	108.5	56.7	26.3	11.3	40.3	14.4	12.5	39.6	78.6	43.6
2011	54.1	84	28.2	38.4	29.3	18.1	54.6	16.7	89	52	22.5	50
2012	80	73	69	43	52.6	54.6	13.8	31.1	36.4	22.7	61.8	52.7
2013	83.7								67.8	70	56.4	45.5
2014	77	31.2	73.4	17.7		33						

Tabla 64

Ficha de registros históricos Estación San Rafael

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1142053.10		ESTE	371175.10		ALTITUD	2699.00					
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN SAN RAFAEL												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1965												
1966						12.1	0	4.2	14	12.3	22.1	17.5
1967	16	14.2	18.5	11.4	6.1	0.01	104.4	0	8	10	7.2	19.7
1968	9.8	13.7	7.5	0.01	3.4	2.1	5.2	12.5	4.7	2	15	8.2
1969	22	15.1	8.9	7.1	15.5	4	0.01	0	6	4.2	8.5	10.2
1970	14.4	4.1	10.9	8	4.1	7.4	3.3	1.6	4.4	9	9.1	13.2
1971	26.5	16	15.6	4.7	2.2	4	12	1	1.4	15.6	7.7	22.7
1972	14	14.8	22.3	8.9	0	0	0.01	0	0	15	18.7	56
1973	34.5	20.2	10.9	2.5	2	12.9	4	10	6.4	23.5	15.5	26.2
1974	29.5		24.2	10.2	0	19.2	12.6	6.5	6.2	2	5.4	5.4
1975	7	9	35	8	10.4	5.4	0.01	3	8	12	23	3.5
1976	8.6	10.8	71.4	15.3	2	3.6	0	0	8.9	140	19	13.5
1977	36	110	22.5	15.5	3.5	0	0	120	222.5	14.5	20	22
1978	12	10.5	11.5	20.6	8.8	3	0.01	0.01	12	25.3	22	17.2
1979	14.5	40	20.4	19.3	4.5	0	14.9	0.01	22	8	11	19.2
1980	8.8	12	24	19.6	0	0.01	0.01	0	0	0.01	8.4	100
1981	8	4.5	10.5	6.5	0	0	0	4	0.01	16	14	206
1982	234	560	130	19	9.3	6.8	5	8.5	6	14	18	10
1983	20	26	28.7	20.4	2	4						
1984												
1985												
1986												
1987	32	98.8	173	100	22.6	6			11	10.7	6.8	30
1988	42.7	24.5	16	14.5	1.6	0	0					
1989												
1990	16.6	13	18	90	0	0	4.1	0	1.5	10.7	6.8	5
1991	14	12	13									
1992										6.4	8	7
1993	8	10	12.2	7	2	1	3.5	4.2				40
1994	23.2	38.5	20.1	12.8	5.4	0.8	0	2.1	11	15.8	9.4	31.2
1995	25.5	30	36.8	16	18.5	13	1.5	3.5	18	22	26.3	31.7
1996	18	17.4	22.8	22.2	8	6	0.9	3.7	21.1	3.5	19.5	16
1997	13	18.6	10.2	12.2	4.5	0	0	7	8.7	22.4	14.3	56.7
1998	29.4	27.5	22.5	7.2	4.4	7.8	0	5.1	6.2	19.8	19	24.6
1999	17.3	21	21.6	9	7.9	9.7	2.4	12.8	14.3	6.6	19.2	14.7
2000	15.9	19.8	20.7	12.8	2.9	14.5	3.5	12.3	12.2	9.4	5.9	25.1
2001	24.4	18.8	17.6	16	5.1	5.6	5.3	7.9	9.2	16.2	41.8	26.1
2002	10.2	16	20.2	9.6	11.4	2.7	17.6	0.7	7	29.9	12	25
2003	7.5	8.6	15.2	52.9	1.9	7.2	0	22.8	9.4	6.7	27.3	18.6
2004	29.6	16.3	20.2	10.8	15	8	3	4.3	27.4	22.8	24.1	
2005	9.9	32	25.9		1.3	0	1.9	9.3	10.6	13	16.1	10.1
2006	13.9	13.7	12.7	9	0.6	5.3	5.6	5.8	16.3	16.5	28.8	15.7
2007	22.5	11.1	25.8	6.8	6.8	0.7	31.9	3.5	12	17.1	12	22.6

2008	17	28.2	8.6	6.1	6.3	6.1	1.2	1.8	42.1	15.3	24.5	17.6
2009	16.1	17.6	25.5	14.7	14.7	3.6	7.1	4.9	9.3	12.7	16.3	22.9
2010	25.1	19.8	20.9	20.8	17.5	4.4	7.7	5.4	3.9	11.8	9	23
2011	16.4	18.2	10.4	21.8	14.4	0.8	1.4	4.5	10.3	20.1	12.2	16.1
2012	13.2	19.5	15.3	24.3	5	6.1	1.7	6.4	1.9	14.8	21.3	33.5
2013	15.6	24.8	15.9	12.2	4.7	9.9			9.1	24.6	27	41.1
2014	18.5	16.9	25.7	10.4		2.7						

Tabla 65

Ficha de registros históricos Estación Canchán

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1096955.50			ESTE	356425.50			ALTITUD	1986.00			
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN CANCHAN												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1988										6.2	6	19.8
1989	22	12.2	13.4	7.6	4.2	3	8.6	0	12.6	18	6.6	65.4
1990	18.1	7.5	9.2	12.5	13	7.5	0.2	2	5.5	14.5	15	7.8
1991	5.6	12.4	0	5.6	5	5.3	0	0	7	15	12.7	17.5
1992	8.7	12	12.1	7.5	3	2.6		21	3.3	6		
1993		10.8	27.3	16.3	19	4.7	1	1.3	9.1	9.4	15.4	12.5
1994	14	15.8		18	11.6	1.3	0.7			13.3	13.2	
1995	15	15.6	16.7	8.5		2	0	0	7.4	4.5	6.3	13.3
1996	8.6	8.5	13.4	17.7	7.7		1	1.5	4.8	10.4	10.2	11.2
1997	22.7	7	15	4.2	6.1	9.5	0	5.2	5.6	8.3	7	11.2
1998	16.8	15.2	24.8	2.9	3.3	1.2	0	0.5	5.4	6.5	22.2	14
1999	16.9	25.1	21.9	4	6.2	4.4	2.2	1	7.6	5	11	14.4
2000	12.8	12.5	11.6	6.2	3.6	6.8	4.4	12.1	8.3	15.1	7	28.1
2001	24.7	7.5	16.1	19	5.2	2.2	4.5	2.8	5	18	60.5	17.8
2002	13.3	12.3	29.6	20.1	5.8	1	9.6	4.1	4.5	21.3	8.7	14.4
2003	14.5	14.4	14.4	12.6	2.6	0	0	6.8	7.7	29	17.1	22.3
2004	7.3	19.4	33.2	9.7	17.4	5	4	4.6	10	12.8	6.2	18.2
2005	13.1	25.2	16.8	7	0.5	0	2.7	17.9	5	11.8	13.1	33
2006	31.6	17.1	19.5	9	4.5	4.8	1	1.4	6.3	26.8	19.5	15.4
2007	16.8	2.7	11.2	6	8	0	2.2	3	4.1	37.1	8.6	26.9
2008	28.1	20.3	10.9	14.2	3.9	1.1	1.6	1.6	18.4	9.5	24.5	29.6
2009	27	26.9	25.2	23.7	5.1	14.6	4.3	0.7	3.7	11.8	12.1	16.2
2010	4.1	16.7	28.6	17.9	6	0	2.4	3.6	12.5	14.5	19	11.4
2011	15.7	8.7	21.3	7.1	14.2	0	1.8	3.5	5.1	19.1	13.7	24.4
2012	17.5	18.1	15.4	13.2	3	1.5	4.2	3.1	2.4	16.8	20.6	23.7
2013	9.2	13.2	21.3	21.7	1.8	16	7.6	15.6	3.2	14.6	17.8	14.3
2014	16.4	19.2	17.5	16.7								

Tabla 66

Ficha de registros históricos Estación Huánuco

REGISTRO HISTÓRICO DE LLUVIAS												
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)												
NORTE	1100364.40			ESTE	363133.60			ALTITUD	1919.00			
E				E				D				
LLUVIAS MÁXIMAS EN 24 HRS - ESTACIÓN HUÁNUCO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1947			8.89	7.35	14.73	0.74	1.27	2.03	2.03	7.37	26.67	15.24
1948	10.16	27.94	13.72	7.62	6.35	6.12	2.03	0.76	3.05	20.32	9.14	11.96
1949	11.43	6.35	17.52	5.84	9.65	5.33	0.76	1.26	5.84	16	11.94	11.27

1950	18.2 9	24.3 8	12.1 9	13.7 2	1.77	2.0 3	4.0 6	0.76	6.1	6.09	18.2 9	38.1
1951	12.7	9.4	8.38	8.13	1.02	6.1	2.0 3	1.52	1.52	19.0 4	9.65	6.1
1952	17.6 2	14	16.9 6	10.6 7	0.5	9.6 5	2.0 3	2.29	2.79	13.9 7	26.1 6	10.4 1
1953	12.4 5	28.9 6	16.2 3	14.2 2	4.06	4.3 2	2.2 9	0.01	16.26	4.83	15.2 4	6.1
1954	12.7	11.9 4	12.4 5	12.4 5	4.06	0.2 5	0.7 6	1.02	10	11.1 7	8.13	12.1 9
1955	26.5 2	15.7 7	18.2 9	12	5.84	6.1	0.0 1	2.03	4.32	3.56	9.15	10
1956												
1957												
1958												
1959												
1960												
1961												
1962												
1963												
1964				4.8	6	0.8	0.6	4.3	5.4	27.3	10.3	9.9
1965	10.1	13.4	19.5	6.3	2.6	2	2.4	1.5	5	5.8	18.5	4.7
1966	20.1	13.5	17.3	0.9	5.9		0.7	3.3	4	8.1	9.6	25.2
1967	11.3	40	31	6.7	17	2.6	10	3	7.2	10.9	17.2	25.8
1968	16	17	11.6	5.3	0.8	2.7	1	4.3	20.4	13.8	4.8	15.6
1969	16.2	9.7	25	8.4	2.7	3.7	0.9	3.8	7.8	4.5	27.4	17.8
1970	8.6	8.9	12	11.7	4.7	9.4	8.6	0.2	10.6	8.4	11.7	20
1971	14.6	6.3	14.6	9.2	5.2	2.3	3.8	10.2	2.9	9.2	15.1	10.4
1972	8.2	9.7	14.6	12.8	3.3	0.0 1	0.0 1	3.3	9.5	10.6	16.5	8.5
1973	15.2	17.6	25.2	12.4	5.2	6.8	2.8	26.1	0.9	24.2	21	20.8
1974	10.6	8.6	19.9	25.6	2	3.5	1.2	5.9	1.8	5.7	3.4	7.5
1975	9.9	10.1	13.6	4.1	15.2	4	2.7	3.1	5.8	29.2	10.8	14.3
1976	12.8	16	3.1	2.6	1.5	0	0	0	2.7			4.1
1977	10.3	13.5	13.7	31.4	15.7	0.5	0.7	5.5	14.2	11	28.5	26.5
1978	9.1	8.7	16.8	7.8	10.9	1	0.7	1.5	0.8	3.2	6.5	15.8
1979			40	26.8	0	0	3.2	0	3.5	30.7	10.4	5.4
1980	24.8	22.4	20.4	22.3	0	8.4						
1981		7.2	9.3	16.7	4.9	0.4	1.4	2.4	3.5	13.3	36.8	35.3
1982	26.7	14	42.9	14.1	2.2	0.9	3.1	3.5	1.7	6.8	8.6	21.6
1983												
1984												
1985												
1986	6.1	17.6	18.5	7.4	10	12. 9	2.1	9.1	5.2	4.5	8.1	15.6
1987	4.9	12.2	18.6	13.5	2.9	4.8	4.2	2.4	4.5	5.7	15.8	12
1988	13.8	20.1	8.7	18.6	4.2	0	4.2	1.5	7.4	3.6	10.7	11.6
1989	15.7	8	11.9	6.5	6.3	3.4	0	1.4	5.7	20.6	11.1	27.4
1990	11.5	6.1	15.1	20.1	13	4.7	1.3	4.5	2.8	21.3	18	12
1991	4.7	15	28.8	8.3	2	5	4.8	0	2.2	11.4	15	20.4
1992	8.5	29.6	15.6	5.4	0	3.6	0	25	2	38.4	24.9	9.8
1993	12.5	18	13.7	13.5	6.2	4.7	3.4	3.7	6	7.6	16.4	12.3
1994		8.7	10.9	24	15	0	0	0	20.5	19	7.2	20.6
1995	8	18.9	17.5	8.9	1.8	0.7	1.2	0.4	3	8.9	13.9	12.3
1996	13.5	9.1	15.9	17.1	10.4	0.0 1	0.1	3.5	1.4	9.3	15.1	8.1
1997	10.5	6.6	11.4	10.6	4.2	1.9	0	4.1	5.3	8.3	11.2	7.8
1998	17.9	16.5	27.5	1	2.7	1.8	0	1.5	3.2	13.4	26	7.2
1999	13.1	28	15.2	5.4	9.2	8.1	4.7	0.6	33	5.6	10.7	13.7
2000	10.8	14.2	14.6	7.7	5.3	7.3	2.4	12.1	4	2.8	20.3	19.3

2001	11.3	8.9	10.6	25.7	7.4	0.8	3.2	5	2	10	48.7	10.8
2002	13	19.4	14.9	27.2	9.7	2.1	5.2	1.3	2.8	22.9	7.8	5.2
2003	12.3	6.4	9.4	14.9	3	0.1	0.1	6.9	4.4	12.5	23	18.1
2004	7.6	8.1	11.9	10.5	11.7	1.4	2.1	4.6	11.3	6.4	13	17.6
2005	5.9	16.6	25.5	2.4	0.6	0.0 1	0.8	7.5	3.5	11	8.7	20.1
2006	28	11.3	18.9	8.3	1.9	3.6	1.6	2	7.2	18.9	21.7	18.2
2007	8.7	2.4	12.3	7.5	5.3	1.2	3.3	2.9	2.3	25.8	13.7	27.3
2008	7.9	12.5	16.6	15.8	2.7	1.8	0.1	0.7	14.2	11.7	33.1	30.6
2009	19.6	10	19.4	10.6	7.3	9	4	3.4	2.3	16.8	8.5	9.1
2010	4.9	17.4	22.6	6.8	2.4	1.2	3.8	5	9.6	12	21.8	19.9
2011	13.6	11.6	35.4	8	9.5	1.8	0.9	1.5	11.4	20.4	19.3	36.2
2012	16.3	12.3	11.6	16.3	5.7	1.9	4.7	2.5	2.6	16.2	29.6	30.7
2013	7.9	13.8	14.7	13.6	1.9	4.7	5.5	14.1	2.4	13.4	11.1	19.9
2014	15.4	21.9	20.6	24.8		3.2						