

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN
DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL
DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN
LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO,
HUÁNUCO 2020”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Sandoval Ponce, Katheryn Ety Elkyn

ASESOR: Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander

HUÁNUCO – PERÚ

2022



U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Análisis estructural, hidráulica y sanitaria

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2018-2019)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

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

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72768854

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 45250659

Grado/Título: Título oficial de máster universitario en ingeniería hidráulica y medio ambiente

Código ORCID: 0000-0003-0701-2621

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Boyanovich Ordoñez, Lili Tatiana	Maestra en gestión pública	41948561	0000-0003-1751-1336

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 10:15 horas del día miércoles 20 de abril de 2022, mediante la plataforma Google Meet, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS - PRESIDENTE
- MG. MARTÍN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA - SECRETARIO
- MG. LILI TATIANA BOYANOVICH ORDOÑEZ - VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 761-2022-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO, HUÁNUCO 2020", presentado por el (la) Bachiller. **SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN**, 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, declarándola APROBADA por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 11:29 horas del día miércoles 20 del mes de abril del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios que con su guía constante me ayuda en cada paso que doy y por ser la inspiración de cada cosa que hago.

A mis padres:

Por todo su amor brindado en cada etapa de mi vida, por sus esfuerzos para que logre alcanzar mis metas, por su apoyo incondicional en cada una de mis decisiones.

A la Universidad de Huánuco:

Por ser el lugar donde me impartieron el conocimiento imprescindible para lograr ser un profesional apto para contribuir a la sociedad y por permitirme dejar un aporte a través de esta investigación.

A todas las personas que me han brindado el apoyo necesario para que este trabajo se realice exitosamente, a los que me brindaron el acceso a la información y los que me compartieron sus conocimientos sobre el tema abordado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme sus bendiciones a lo largo de mi vida, darme la fortaleza para superar los obstáculos y acompañarme en todo mi caminar.

Asimismo, me gustaría agradecer a mis padres pues, sin su apoyo constante, me hubiera sido difícil desarrollar mis proyectos y sueños, además que gracias a su educación impartida supieron orientar mis pasos hacia una vida de servicio a los demás. Pues todos mis logros son el reflejo de la constante dedicación hacia mi persona.

Expresar mi agradecimiento a todos mis profesores que me han enseñado a través todo mi proceso de formación profesional, pues en base a sus enseñanzas he podido desarrollar mis habilidades y aprender de su experiencia.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	XI
SUMMARY.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	17
1.3. OBJETIVO GENERAL	17
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	18
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	18
1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	18
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	20
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	24
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	61
2.4. HIPÓTESIS.....	63
2.5. VARIABLES	63

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	63
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	63
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	64
CAPÍTULO III.....	65
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.1.1. ENFOQUE.....	65
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	65
3.1.3. DISEÑO	66
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	67
3.2.1. POBLACIÓN	67
3.2.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	67
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
.....	68
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	68
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	69
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	
.....	69
CAPÍTULO IV.....	70
RESULTADOS.....	70
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	70
4.1.1. PARA LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN	70
4.1.2. PARA EL SIG ILWIS	91
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	
.....	120
CAPÍTULO V.....	130
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	130
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	130
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES.....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXOS	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov.....	55
Tabla N° 2 Operacionalización de Variables.....	64
Tabla N° 3 Completación de datos faltantes	71
Tabla N° 4 Precipitaciones máximas estación San Rafael.....	72
Tabla N° 5 Datos para la curva de doble masa.....	74
Tabla N° 6 Datos de los tramos del 1 al 5.....	75
Tabla N° 7 Análisis de consistencia de los tramos 1 y 2	76
Tabla N° 8 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2 y 3	77
Tabla N° 9 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2, 3 y 4	77
Tabla N° 10 Datos corregidos de los años 1987,1990 y 1994	78
Tabla N° 11 Datos corregidos de los tramos 1, 2, 3 y 4.....	78
Tabla N° 12 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2, 3 ,4 y 5	79
Tabla N° 13 Delta tabular y teórico de cada distribución de probabilidad	87
Tabla N° 14 Parámetros de la muestra de datos	87
Tabla N° 15 Precipitaciones Máximas por medio de la distribución Gamma 3 parámetros.....	88
Tabla N° 16 Coeficientes para las relaciones de lluvia	88
Tabla N° 17 Precipitaciones máximas para cada periodo de retorno.....	89
Tabla N° 18 Intensidades máximas para cada periodo de retorno.....	89
Tabla N° 19 Intensidades para diferentes duraciones y periodos de retorno	90
Tabla N° 20 Características de los suelos de la subcuenca Blanco.....	115
Tabla N° 21 Número de curva según el uso de suelo de la subcuenca Blanco	116
Tabla N° 22 Cálculo del número de curva compuesto	118
Tabla N° 23 Datos de la geometría de la cuenca.....	118
Tabla N° 24 Datos hidrológicos necesarios para la fórmula del método racional modificado	119
Tabla N° 25 Cálculo del caudal por el método racional modificado	119
Tabla N° 26 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno por la primera forma de cálculo.....	119
Tabla N° 27 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno por la segunda forma de cálculo	120

Tabla N° 28 Datos de la microcuenca del puente	125
Tabla N° 29 Caudales máximos del puente Huancapata.....	126
Tabla N° 30 Comparación entre caudales del proyecto del puente y los de esta investigación	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la cuenca	30
Figura 2. Red hidrográfica de la provincia de Ambo	32
Figura 3. Resultados de las aportaciones mensuales y caudales diarios mensuales.....	32
Figura 4. Aportaciones mensuales en régimen natural.....	33
Figura 5. Capas temáticas del SIG	34
Figura 6 Elementos que forman el sistema SIG.....	35
Figura 7. Diagrama esquemático de la metodología propuesta para el desarrollo del trabajo de grado.	39
Figura 8. Resultados de procesamiento de datos.....	40
Figura 9. Volumen de control para la aplicación de la ecuación fundamental de la hidrología	42
Figura 10. Pluviómetro tipo B.....	44
Figura 11. Pluviógrafo.....	45
Figura 12 .Pluviograma	45
Figura 13. Análisis visual	47
Figura 14. Análisis doble masa para obtener los periodos de estudio (n1, n2, n3).....	48
Figura 15. Forma típica de un salto	50
Figura 16. Flujograma del diseño de ingeniería	67
Figura 17. Hidrograma de precipitación de la estación San Rafael y la estación Huánuco	73
Figura 18. Diagrama de Doble Masa	75
Figura 19. Curva IDF	91
Figura 20. Catálogo del software ILWIS con el raster de la foto satelital	92
Figura 21. Ventana Create GeoReference.....	93
Figura 22. Ventana de GeoReference Editor	94
Figura 23. Ventana para colocar un punto	94
Figura 24. Puntos para la georreferenciación	95
Figura 25. DEM con la superficie rectangular que abarca la subcuenca Blanco.....	96
Figura 26. Ventana para la creación del Resample	97

Figura 27. Mapa raster DEM con Resample	98
Figura 28. Ventana para interpolación Kriging from Raster	99
Figura 29. Mapa raster DEM Visualization.....	100
Figura 30. Ventana para la operación Fill Sinks.....	100
Figura 31. Mapa raster sin depresiones.....	101
Figura 32. Ventana para la operación Flow Direction	102
Figura 33. Mapa raster de dirección de flujo	102
Figura 34. Ventana de la operación Flow Accumulation	103
Figura 35. Mapa raster de acumulación de flujo	103
Figura 36. Ventana de la operación Drainage Network Extraction.....	104
Figura 37. Mapa raster de salida de la operación Drainage Network Extraction	105
Figura 38. Ventana de la operación Drainage Network Ordering.....	106
Figura 39. Mapa raster de orden de red	106
Figura 40. Ventana de Display Options	107
Figura 41. Ventana para crear un mapa de punto.	107
Figura 42. Mapas superpuestos.....	108
Figura 43. Punto donde empieza la subcuenca	108
Figura 44. Ventana de la operación Catchment Merging.....	109
Figura 45. Delimitación de la Subcuenca Blanco.....	110
Figura 46. Cuadro de propiedades de la subcuenca Blanco.....	110
Figura 47. Rio principal de la subcuenca Blanco	111
Figura 48. Cuadro de propiedades del cauce principal	111
Figura 49. Ventana para la creación de la curva hipsométrica	112
Figura 50. Cuadro de datos de la curva hipsométrica.....	113
Figura 51. Ventana para crear el grafico de la curva hipsométrica	113
Figura 52. Gráfico de salida de la curva hipsométrica	114
Figura 53. Curva Hipsométrica de la subcuenca Blanco	114
Figura 54. Mapa de suelos de la subcuenca Blanco.....	115
Figura 55. Grupo hidrológico según descripción del suelo.	117
Figura 56. Vista de Variables/ Datos – SPSS 24	121
Figura 57. Gráficos de Dispersión – SPSS 24	122
Figura 58. Cuadro de Prueba de Normalidad – SPSS 24	123
Figura 59. Histograma de distribución normal o paramétrica – SPSS 24 ..	124

Figura 60. Cuadro de Correlación – Estadístico de PEARSON– SPSS 24	124
Figura 61. Vista de Variables/ Datos – SPSS 24 Expediente Técnico.....	126
Figura 62. Gráficos de Dispersión – SPSS 24 Expediente Técnico.....	127
Figura 63. Cuadro de Prueba de Normalidad – SPSS 24 Expediente Técnico	128
Figura 64. Histograma de distribución normal o paramétrica – SPSS 24 Expediente Técnico	129
Figura 65. Cuadro de Correlación – Estadístico de PEARSON– SPSS 24	129
Figura 66. Desborde del rio Huallaga en el puente Huancapata.....	132

RESUMEN

La presente investigación realiza el cálculo de los caudales máximos para distintos periodos de retorno con el fin de que sirvan para un mejor dimensionamiento de obras hidráulicas en próximos años. Previamente al cálculo se hace el análisis estadístico de precipitaciones máximas con estos datos se consiguió las intensidades máximas, para el desarrollo del sistema geográfico se hizo uso del software ILWIS que es de código libre y que nos permitió conseguir las propiedades físicas de la subcuenca Blanco. Con la obtención de estos datos se procedió a hacer el cálculo de los caudales por el método racional modificado de dos maneras, la primera usando la precipitación y la segunda usando las intensidades. Posteriormente se hizo una comparación de los caudales obtenidos y los mostrados en el estudio hidrológico del Puente Huancapata. Por último se hizo la revisión de noticias sobre el desempeño de dicho puente ante ocurrencia de avenidas máximas, encontrándose que la estructura se vio afectada. Concluyéndose así, que se subestimaron los caudales en su estudio hidrológico, por otra parte los caudales de esta investigación son valores muy altos por eso la recomendación que se da es realizar otra investigación que pueda comparar metodologías para llegar a una precisión en el caudal de la subcuenca Blanco. La hipótesis planteada si pudo ser afirmada porque ayudará en cierta medida a un mejor dimensionamiento de obras hidráulicas, ya que a partir de estos cálculos se podrá discernir entre el caudal más adecuado a ser utilizado en el diseño de futuras obras hidráulicas.

Palabras clave: Caudal, Subcuenca Blanco, Ilwis

SUMMARY

The present investigation calculates the maximum flows for different return periods in order to serve for a better dimensioning of hydraulic works in the coming years. Previously, the statistical analysis of maximum rainfall is made with these data, the maximum intensities are verified, for the development of the geographic system the ILWIS software was used, which is open source and allows us to obtain the physical properties of the Blanco sub-basin. . With the obtaining of these data, we will proceed to calculate the flow rates by the modified rational method in two ways, the first using the update and the second using the intensities. Subsequently, a comparison was made of the evaluation flows and those shown in the hydrological study of the Huancapata Bridge. Finally, a review of the news on the performance of said bridge was made in the event of maximum avenues, finding that the structure was affected. Thus, concluding that the flow rates were underestimated in their hydrological study, on the other hand, the flow rates of this research are very high values, so the recommendation given is to carry out other research that can compare methodologies to arrive at a precision in the flow rate of the White Sub-basin. The hypothesis raised if it could be affirmed by the aid to a certain extent to a better dimensioning of hydraulic works, since from these tests it will be possible to discern between the most adequate flow to be used in the design of future hydraulic works.

Keywords: Flow, Blanco sub-basin, Ilwis

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se identifica el problema de investigación, dado que, el agua es un recurso vital para nuestra vida como para todo ser vivo, además que, es importante para el desarrollo de un país o región, pues es mediante este recurso que se realizan la mayoría de actividades que estimulan al crecimiento económico. Así pues, podemos deducir claramente el alto grado de significación que es hacer una buena gestión del agua que se logra a través de obras hidráulicas, por lo que, formular nuestro problema de investigación, establecer nuestros Objetivos, justificando la importancia de la investigación a pesar de las limitaciones, generan la viabilidad de la investigación por la relevancia que éste tiene en el desarrollo de nuevas obras hidráulicas beneficiosas para la región y en beneficio para el conocimiento y experiencia de las mismas.

Con fundamentos de la investigación, definimos el Marco teórico y conceptual, que son relevantes para dar consistencia y sustento teórico, práctico y metodológico a la investigación; generándose así las Hipótesis a comprobar, así como las variables que derivan de las mismas; dado que, éstas serán comprobadas mediante métodos estadísticos de contrastación de hipótesis, dándole así mayor sustento a lo planteado y mediante datos numéricos determinar la relevancia de la investigación en la generación, Diseño y Planificación de nuevos estudios hidráulicos en la zona.

Por lo cual, esta investigación se centra principalmente en el cálculo del caudal máximo de la subcuenca Blanco, mediante el método racional modificado; teniendo en cuenta que, por medio de la metodología planteada, determinaremos el enfoque, alcance y diseño; teniendo en cuenta la población establecida y la muestra a usar para el procesamiento de datos meteorológicos, mediante la recolección de datos, análisis y procesamiento con el método racional modificado y los instrumentos como el software Ilwis e Hidroesta para dichos procesos de cálculo necesarios.

Los resultados obtenidos en dicho procesamiento de datos, mediante la contrastación y prueba de hipótesis, determinarán la relevancia de aplicación y dimensionamiento para el caudal máximo, que se tienen con los obtenidos

(Datos Meteorológicos), mediante los procesos e instrumentos bases de esta investigación, que nos permite concluir y definir la factibilidad de la investigación realizada, logrando hacer una buena gestión del agua, a través de nuevas obras hidráulicas, que tienen una importancia relevante en el desarrollo social, económico y de investigación de los mismos.

Por último, la presente investigación tiene por objeto determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca, Clasificando y empleando la información disponible (Datos Meteorológicos); e Identificando los tipos y Usos de suelo que existe, Calculando la variación entre el valor del caudal máximo usado y el obtenido con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Esta investigación se centra en encontrar el caudal máximo en la subcuenca Blanco, que servirá como dato, para un posterior desarrollo de obras hidráulicas en diferentes periodos de retorno, por la situación en la que se encuentra la subcuenca Blanco, que constantemente recibe daños en las infraestructuras viales e hidráulicas (carreteras y obras de drenaje) por avenidas máximas; lo cual produce constantes gastos adicionales no planificados para la rehabilitación, reparación y construcción de dichas obras. Lo cual se produce en las temporadas de precipitaciones intensas (enero a marzo), no solo causando daños en la infraestructura sino también peligro latente y riesgo para los pobladores, viajeros, transeúntes y daño al medio ambiente de la zona por los diversos deslizamientos que se origina. Cabe indicar que el aumento del caudal máximo viene acompañado por desborde del río afectando los suelos de la subcuenca Blanco, erosionándolos y generando un peligro inminente para todos, los cuales causan grandes pérdidas económicas en el sector de la agricultura, ganadería, transporte, comunicaciones, comercio y otros; lo más perjudicial del aumento de estos caudales es que son eventos que se dan de forma repetitiva y las medidas de prevención, contingencia y mitigación de dicho problema no mejoran.

Cabe indicar que, en algunos países en especial en los subdesarrollados, como es el caso de Perú, no se cuenta con información meteorológica necesaria, esto afecta la determinación del valor del caudal máximo para realizar los diseños de nuevas obras hidráulicas idóneas, por lo que esto nos obliga a recurrir a metodologías para encontrar una solución aceptable que nos brinde resultados de calidad, para poder ser aplicados de manera práctica en proyectos hidráulicos; por lo que, ante la problemática antes expuesta se plantea determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de las nuevas obras hidráulicas garantizando su bienestar, durabilidad y protección de bienes y

recursos (viviendas, carreteras, área de cultivos, puentes) de la población y así poder preservar y proteger el contexto medio ambiental de la zona.

Según (Acosta, 1990). El conocimiento del caudal máximo nos ayuda a evitar o mitigar, los daños causados por las grandes crecidas a las poblaciones y para preservar y proteger el medio.

En nuestro territorio nacional no es indiferente pues en diferentes departamentos es sabido los constantes daños producidos a obras civiles que están en contacto con el recurso hídrico en temporadas de precipitaciones intensas, así pues, podemos mencionar los puentes que debido al aumento del nivel del río, no respetan el galibo mínimo dado en el manual de puentes y hasta en ciertas ocasiones no cuentan con éste. Esto nos da un indicio claro de que no se está estimando con precisión los caudales máximos. Lo más perjudicial es que estos eventos se dan de forma repetitiva y las medidas tomadas no mejoran la prevención.

También cabe mencionar que por el fenómeno del niño se originan inundaciones, podemos citar algunos casos más recientes como el del río Zarumilla en el año 2017, que se desbordó generando enormes pérdidas al agro y la población local. Ese mismo año el río Piura se desbordó y llegó hasta el centro de la ciudad. La inundación afectó a decenas de personas que tenían dificultades para movilizarse por la ciudad. Además, que las defensas ribereñas se ven afectadas por los caudales máximos, pues la fuerza de toda la masa de agua es grande, por lo cual se realizan trabajos de reforzamiento como se da en el río La Leche para proteger la huaca Las Ventanas ubicada en el Santuario Histórico Bosque de Pómac. Con el fin de preservar la importante arquitectura precolombina (Andina, 2015).

Al no contar con el valor preciso de esta variable trae consigo que los diseños realizados por los profesionales tengan un margen más amplio de error. Así como ocurrió en Ecuador el desbordamiento del río Otongo que causó daños a los cultivos, por la gran velocidad con la que venía. Asimismo, la creciente del río Paraná obligó a cerrar el paso sobre los puentes de la ruta nacional 12 en localidades de Misiones.

Todos estos sucesos nos ayudan a entender mejor la problemática que causa el incremento del caudal máximo en las cuencas hidrográficas de los diversos países; que sumado al incorrecto cálculo de éste perjudican en el dimensionamiento adecuado de las obras civiles e hidráulicas que mitigan y previenen dicha problemática.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el valor del caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Qué información disponible contribuye a determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?

¿Qué tipos y usos de suelo existe para determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?

¿Cuál es la variación entre el valor del caudal máximo usado en las obras hidráulicas y el obtenido con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Clasificar y emplear la información disponible que contribuyen a determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el

dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

Identificar los tipos y usos de suelo que existe para determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

Calcular la variación entre el valor del caudal máximo usado en las obras hidráulicas y el obtenido con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Esta investigación busca mediante la aplicación de la teoría hidrológica y el software libre ILWIS, la determinación del caudal máximo de la subcuenca Blanco, el propósito es generar un aporte al conocimiento hidrológico que sea utilizado en épocas de avenidas máximas dentro de la mencionada subcuenca.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Esta investigación se realiza ante la necesidad de conocer el caudal máximo para ser aplicados en obras ingenieriles, pues a partir de este valor se podrá mejorar la precisión en los diseños de estructuras, en las cuales interviene el agua. De esta manera asegurar un correcto funcionamiento de las estructuras durante todo el periodo de su vida útil.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Al utilizar un programa diferente al empleado por otros profesionales permite establecer diferencias y/o semejanzas entre los resultados obtenidos, hacer una somera comparación entre metodologías y por supuesto generar una base para futuras investigaciones en la subcuenca Blanco.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación como toda presenta limitaciones que serán expuestas a continuación:

El área de investigación abarcará solo la subcuenca Blanco, excluyendo a otras subcuencas que se encuentran entorno a ésta, si se quisiera aplicar el resultado de la investigación requeriría de un estudio de similitud hídrica.

Todo el análisis de la información geográfica se llevará a cabo exclusivamente en el software ILWIS.

El cálculo del caudal pico se hará tomando en cuenta todas las restricciones que tiene el método racional modificado, lo que significa que no podrá ser usada para subcuencas que sobrepasen dichas restricciones.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es considerada viable porque se tiene principalmente la disposición y el compromiso de realizarlo, además que cuenta con los recursos mínimos, para solventar todos los gastos que implican dicha investigación. Otra razón es la que se cuenta con el tiempo suficiente para finalizar la investigación con éxito y con una calidad óptima.

Cabe recalcar que para el desarrollo de la investigación se cuenta con la información idónea, además de una herramienta confiable para el procesamiento de sistema geográfico y por supuesto de todo el conocimiento requerido para garantizar la veracidad del resultado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Este problema ha sido identificado por diversos profesionales, pues constituye gran interés, ya que la problemática se presenta en diferentes lugares del mundo. Por lo cual se presenta un compendio de los estudios ejecutados descritos en forma resumida en los siguientes párrafos.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cuevas, S. (2014) realizó la investigación: “Determinación de la escorrentía pico para la subcuenca del drenaje s/n tributario del río Acacias con ayuda del software ILWIS”, en la Universidad Católica de Colombia. Cabe indicar que, la investigación llegó a las siguientes conclusiones: (1) El software ILWIS permite realizar modelos de elevación, mapa de pendientes y cálculo de distancias. El aplicativo 11, permite procesar la información necesaria para el cálculo de la escorrentía pico. (2) En la cuenca predominan las pendientes aproximadas al 7% que corresponde a laderas inclinadas, seguido de pendientes menores al 5% que corresponde a laderas planas a suavemente inclinadas, y de manera escasa se presentan pendientes entre el 15 y 11% que corresponde a laderas muy inclinadas. Las formas de laderas de la cuenca son planas, y de manera escasa se presentan las formas cóncavas y convexas. (3) En la Subcuenca del Drenaje S/N presentan drenajes subparalelos y rectangulares. (4) La subcuenca del Drenaje S/N, presenta un tiempo de concentración equivalente a 30.53 minutos de acuerdo al procesamiento en ILWIS de la información de longitud del río y pendiente ponderada del cauce y aplicando la fórmula Kirpich/Ramser, valor que difiere con lo indicado por CORMACARENA, 2012; quienes calcularon un tiempo de concentración de 64.17 minutos.

Gonzalez, F. & Ortegón, J. (2016) en su investigación: “Cálculo del caudal de la cuenca hidrológica de la quebrada Guaguaqui, del departamento de Boyacá, por el método racional”, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: (1) La cuenca hidrográfica de la quebrada seca tiene una longitud de 12,86 Km, en su cauce principal; El tiempo de concentración es 118 minutos, este tiempo determina la intensidad a partir de las curvas IDF suministradas por el proyecto de grado: construcción y análisis de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para las estaciones de Otanche y Villa Luisa en el departamento de Boyacá elaborado por cesar Oswaldo Bohórquez Salgado. (2) La cuenca del río Chirche, es una microcuenca alargada oval oblonga, lo cual influye de manera directa en la eficiencia que presenta la red de drenaje con alta tendencia a crecientes por su coeficiente de forma y de compacidad. Lo que indica que, al momento de presentarse una lluvia, el agua escurrirá por los tributarios, el tiempo que tardara en viajarla crecida es bajo. (3) La hoya no se ajusta a una distribución normal de probabilidad. Ya que en el momento de calcular la elevación media de la hoya y la mediana a partir de la curva hipsométrica los valores son diferentes. (4) Las características morfométricas de la cuenca de la quebrada del Chirche son : un área total de 60 km², con un terreno de pendiente escarpada de 88%., montaña cálida y humedad de crestas y crestones con pendiente superior al 50 % y pedregrosidad en correspondiente al 50.03% corresponde a bosques convertidos en pastizales y montaña homoclinal cálida muy humedad de vigas y crestones con pendiente superior al 50 % y pedregrosidad en superficie correspondiente al 49.97% a área de zona minera convertida en pastizales.

Barbero, I. (2014) realizó la investigación: “Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal”, en la Universidad Politécnica de Valencia”. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: (1) Se manifestó la idoneidad del uso del SIG para procesos hidrológicos, ya que permite automatizar en gran medida el

proceso y, sobre todo, aumentar significativamente la cantidad de información con la que se trabaja. (2) Una de las mayores fuentes de error puede ser la atribución de valores de escurrimiento a la zona de bancales, ya que ha tenido que hacerse de manera aproximada estudiando cada método, sin que haya sido posible acudir a campo y realizar las mediciones convenientes. Si bien no puede comprobarse con datos reales, si puede verse que los valores asignados han sido coherentes en todos los métodos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Rojas, S. (2018) realizó la investigación: “Cálculo de precipitaciones y caudales de diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas de Huancavelica, Junín y Ayacucho”, en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Esta investigación obtuvo las siguientes conclusiones: (1) Se construyeron las curvas IDF a partir del estudio de Hidrología IILA.SENAMHI 1983, se ha observado que los parámetros que recomienda utilizar para calcular las intensidades de lluvia dependen de las coordenadas de ubicación de las estaciones y de las zonas y sub zonas pluviométricas. Este método no es recomendable debido a que no se ha actualizado este estudio (1983) además para la ubicación de las coordenadas en el mapa de zonas pluviométricas se tiene una incertidumbre muy alta. (2) Se observó que las subcuencas Huarpo, Caracha y Cunas representan la misma subzona pluviométrica por lo que se determinó una misma curva IDF para ellas. (3) Comparando los dos métodos para la construcción de curvas IDF se observó que los valores de las intensidades son mayores utilizando el método estadístico según la distribución que mejor se ajuste a los datos de las precipitaciones, esto debido a que se hizo una corrección de intervalos fijos, estos valores incrementados conducen a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basadas en lluvias máximas verdaderas. (4) Se ha observado que los valores del caudal máximo guardan relación con los valores de las láminas de precipitación efectiva. En la subcuenca

Cunas representada por la estación San Juan de Jarpa se ha observado que, para un periodo de retorno de 5 años, la precipitación máxima es 40.26 mm y una precipitación efectiva (escurrimiento) de 10 mm este último produce un caudal máximo de 53 m³/s. Se puede concluir que mientras más grande es el área del sector hidrológico los valores calculados del caudal aumentan.

Coaquira, R. (2015) realizó la investigación: “Análisis de precipitaciones para determinar caudales máximos en la micro cuenca Milli Milli – Moho”, en la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano. Esta investigación obtuvo las siguientes conclusiones: (1) La variación es de 1.9 para la mediana y 2,0 desviación estándar, lo que equivale a menos del 5% de variación, ello es suficiente para realizar los análisis de frecuencia y determinar las intensidades de lluvia. (2) Los tiempos de concentración calculados mediante: Kirpich, Bransby Williams, Temez modificado, es posible validar cada una de estas metodologías y concluir que, con cualquiera de ellas se puede trabajar, debido a que los resultados obtenidos serán aceptables ya que están dentro de los rangos encontrados in-situ (huellas hídricas), y por motivos de practicidad es que se utilizó el promedio de las tres variables para obtener un mejor resultado que se ajuste a la realidad siendo este 1.66 horas. (3) Las intensidades para la estación meteorología Huaraya – Moho y estas varían de acuerdo a su periodo de retorno por esto tenemos, para 5 años es 17.24, para 10 años es 19.12, para 20 años es 20.75, para 25 años es 21.24, para 50 años es 2.67 y para 100 años es 24.00. (4) Todas las metodologías Hidrometeorológicas que fueron aplicadas en la investigación, necesitan un factor de ajuste (que varía conforme al pasar el tiempo), para ser aplicadas, estas tienen que ser actualizadas y reajustadas, debido a que se pueden generar errores en su aplicación, ya que el uso de suelo y las condiciones meteorológicas varían conforme pasa el tiempo.

Antequera, M. (2014) realizó la investigación: “Determinación de caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas y estadísticas en la sub cuenca del río Quillcay”, en la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Esta investigación llegó a las siguientes conclusiones: (1) Las características fisiográficas de la sub cuenca del río Quillcay obtenidos fueron el área de la sub cuenca igual a 248.07 Km², longitud principal del cauce de 27.55 km, cota máxima de 6250 m.s.n.m, cota mínima de 3050 m.s.n.m, pendiente del río principal de 11.6. El tiempo de concentración igual a 1.95 y el número de curva de 75. (2) La determinación de caudales máximos a través del Hidrograma Sintético de Snyder para diferentes periodos de retomo fueron: 30.22 m³/s para un periodo de retomo de 5 años, 37.32 m³/s para un periodo de retorno de 10 años, 46.09 m³/s para un periodo de retorno 20 años, 49.33 m³/s para un periodo de retorno de 25 años, 60.93 m³/s para un periodo de retorno de 50 años y 75.25 m³/s para un periodo de retomo de 100 años. (3) La determinación de caudales máximos a través del Hidrograma Sintético del Soil Conservation Service fueron: 23.70 m³/s para un periodo de retorno de 5 años, 36.61 para un periodo de retorno de 10 años, 52.11m³/s para un periodo de retorno de 20 años, 57.25 m³/s para un periodo de retorno de 25 años, 73.11 m³/s para un periodo de retorno de 50 años y 89.97 m³/s para un periodo de retorno de 100 años. (4) Los caudales máximos con la metodología estadística (mejor ajuste) fueron: 33.29 m³/s para un periodo de retorno de 5 años, 37.25 m³/s para un periodo de retorno de 10años, 40.87 m³/s para un periodo de retorno de 20 años, 41.99 m³/s para un periodo de retorno de 25 años, 45.37 m³/s para un periodo de retorno de 50 años y 48.63 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

No se encontraron antecedentes locales referentes al tema de investigación de hace menos de 5 años de antigüedad.

2.2. BASES TEÓRICAS

Se considera fundamental que toda investigación cuente con bases teóricas, pues sobre éstas se consolida toda la investigación. Asimismo, permite disminuir el riesgo de confusión y brindar una noción clara del problema planteado y de los resultados obtenidos.

CAUDAL

Es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento durante un tiempo definido. Dicha cantidad se identifica más comúnmente con el flujo volumétrico que pasa por un área dada, en una unidad de tiempo y con menos frecuencia, con el flujo másico.

En el caso de cuencas de ríos o arroyos, los caudales generalmente se expresan en metros cúbicos por segundo o miles de metros cúbicos por segundo. Son variables en tiempo y en el espacio y esta evolución se puede representar con los denominados hidrogramas. (Torres & Aragón, 2018).

El caudal en la Ingeniería Agrícola e Hidráulica

El caudal de un río es fundamental en el dimensionamiento de presas y obras de control de avenidas. Dependiendo del tipo de obra, se emplean los caudales medios diarios, con un determinado tiempo de recurrencia o tiempo de retorno, o los caudales máximos instantáneos. La forma de obtención de cada uno es diferente: para los primeros es posible tomar como base los valores de caudales registrados en una estación de medición, durante un número considerable de años, en cambio los máximos instantáneos, muy frecuentemente se deben calcular a través de modelos matemáticos.

La medición práctica del caudal líquido en las diversas obras hidráulicas, es de gran importancia puesto que de ella depende el buen funcionamiento del sistema hidráulico como un todo, y es fundamental para garantizar la seguridad de la estructura. Existen diversos procedimientos para la determinación del caudal máximo instantáneo.

Tipos de caudal

➤ Caudal medio diario

Es la media de los caudales instantáneos medidos a lo largo del día; esta medición debe realizarse en un tramo del río o estructura hidráulica donde el flujo del agua sea estable, a esto se le conoce como sección de control. Si la sección de control es del tipo limnimétrico, normalmente se hacen dos lecturas diarias de nivel, cada 12 horas.

$$Q_{md} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

Dónde:

Q_{md} = Caudal medio diario

Q = Caudal instantáneo

Si la sección es del tipo limnigráfico convencional, es decir que está equipada con un registrador sobre cinta de papel, el hidrólogo decide, con base en la velocidad de variación del nivel del agua, el número de observaciones que considerará en el día. Siendo n , el número de puntos considerado, la fórmula anterior se transformará en la siguiente:

$$Q_{md} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n}$$

Dónde:

Q_{md} = Caudal medio diario

Q = Caudal instantáneo

n = número de mediciones

Si la sección es del tipo telemétrico donde el registro del nivel del agua se hace a intervalos de tiempo determinado (dt , en segundos), el número diario de registros será de:

$$n = \frac{86400}{dt} \quad (4.3)$$

➤ **Caudal medio mensual**

Es la media de los caudales medios diarios, del mes en examen (M=número de días del mes: 28, 30 o 31, según corresponda). Se expresa en m³/s.

$$Q_{md} = \frac{Q_{md1} + Q_{md2} + \dots + Q_{mdM}}{M}$$

➤ **Caudales máximos**

Los caudales máximos instantáneos son el valor máximo que se presenta durante un día, semana, mes o año en una corriente de agua, se obtienen directamente del hidrograma, cuando la estación hidrométrica está equipada con limnógrafo. En caso contrario, los niveles se miden en miras topográficas que se instalan en una de las orillas del río, es decir, una de las márgenes de la corriente. Estas medidas se complementan con elementos especiales denominados “maxímetros”, los cuales cuentan con una señal que marca el nivel máximo alcanzado por el agua en un período dado, generalmente de 24 horas. Los niveles máximos se convierten en caudales máximos por medio de la curva de calibración. Una vez seleccionados los caudales máximos instantáneos, o picos de crecientes, se conforman las series históricas.

➤ **Caudales mínimos**

Son los caudales mínimos de una corriente, también llamados caudales de estiaje, estos se registran como caudales mínimos diarios. De acuerdo con las necesidades de cada proyecto, en ciertos casos se determinan los caudales mínimos medios de 10 días consecutivos, o los caudales mínimos mensuales. Para formar la serie de caudales mínimos diarios, se registra durante cada año o periodo de estudio los caudales que presente la corriente, se ordenan de menor a mayor y luego se procede a conformar una serie anual o una serie básica de mínimos. Para la serie anual se toma el caudal mínimo diario de cada uno de los años de registro. De esta

manera la serie tiene tantos valores como años de registro (Medina, 1998).

➤ **Relación caudal pico/caudal diario**

Para esta relación generalmente se toma un valor promedio de 1.6, puesto que numerosos estudios de crecidas extremas en el mundo, han arrojado valores entre 1,2 y 2,2 (en promedio 1,6), para dicho coeficiente, con una probabilidad de 90 %. Sin embargo, en cuencas pequeñas puede ser mucho más elevado.

Medición de caudal

Para cuantificar el volumen de agua que pasa por una sección transversal de un conducto o canal, en la unidad de tiempo, se realizan aforos que no son más que mecanismos para determinar caudales.

❖ **Aforo**

Todos los mecanismos de aforo se basan generalmente en la ecuación de continuidad. La selección del método está en función de las necesidades técnicas y de la naturaleza de la corriente que se desea medir, de manera que cada procedimiento tendrá sus propios alcances y limitaciones, por lo cual el nivel de calidad en las observaciones realizadas variará (Muñoz, 1985).

❖ **Aforo volumétrico**

Este método se utiliza en corrientes de pequeños caudales y consiste en ubicar en el río un recipiente de volumen conocido para llenarlo en un período de tiempo reducido. El caudal se determina con la siguiente expresión (Fórmula 4.5):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.5)$$

CAUDALES MÁXIMOS

Según (Andrade, 2015), el conocimiento de los caudales máximos de los ríos reviste especial importancia para:

- Diseñar proyectos de aprovechamiento y/o control de caudales de crecida o avenidas, que pueden provocar desbordamientos e inundaciones; para el diseño de puentes, navegación fluvial; diseño de sistemas de alcantarillado y saneamiento.
- Generar planes de desarrollo, control de inundación de áreas urbanas, planificación de actividades recreativas, preservación del medio ambiente, desenvolvimiento de la vida acuática, navegación de ríos, etc.

Se tiene dos tipos de demanda de información de caudales máximos: los caudales máximos o pico; y, los hidrogramas de crecida, en los cuales interesa la forma de la avenida.

Se proponen tres procedimientos para la determinación de los caudales pico:

- a) aplicación del método estadístico – probabilístico
- b) obtención de relaciones precipitación escurrimiento (método racional)
- c) relaciones zonales.

CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal. (Vásquez V., y otros, 2016)

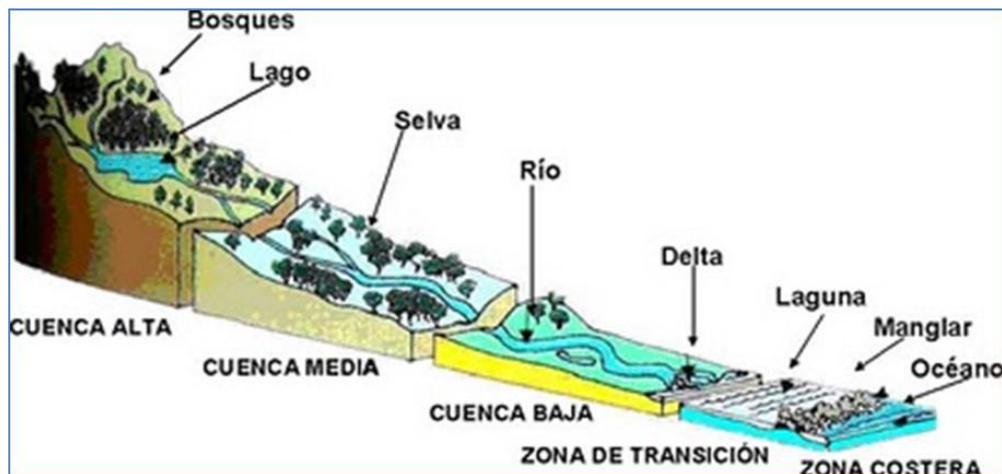
Por otro lado, una cuenca hidrográfica es un sistema abierto a flujos, influencias y líneas de acción que atraviesan sus fronteras; es decir que puede recibir y dar; pues una cuenca hidrográfica es solo una parte ínfima de la tierra. (Vásquez V., y otros, 2016)

Partes de la cuenca

La cuenca se divide en las siguientes partes en función de su topografía (Ordoñez Galvez, 2011)

- Cuenca alta: Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- Cuenca media: Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- Cuenca baja o zonas transicionales: Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Figura 1. Partes de la cuenca



Fuente: (Adaptado por Ordoñez, 2011)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS

El funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector, que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca. Cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas. En función de esto, las características físicas más importantes de una cuenca son (Cahuana Andía & Yugar Morales, 2009):

Área (A)

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escurrimiento dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por

la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en km². Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor. (Lux Cardona, 2016)

Perímetro (P)

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. (Lux Cardona, 2016)

Longitud de la cuenca (L)

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. (Lux Cardona, 2016)

Ancho de la cuenca (B)

Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

SUBCUENCA BLANCO

De la red hidrográfica de la provincia de Ambo se puede apreciar que aparece el río blanco que se encuentra dentro de la subcuenca con el mismo nombre donde se observa sus tributarios y el distrito en el que se encuentra.

Figura 2. Red hidrográfica de la provincia de Ambo

CUENCA	SUBCUENCA	MICRO CUENCA	TRIBUTARIO	DISTRITOS	
VERTIENTE DEL ATLÁNTICO	RÍO HUALLAGA	Río Blanco	Río Gollar	San Rafael	
			Qda. Marca Marca	San Rafael	
			Qda. Hualmachay	San Rafael	
			Qda. Chacuas	San Rafael	
			Qda. Hahui	San Rafael	
		Qda. Huranuisha	Qda. Tishco	Ambo	
				Qda. Paccha	Ambo
	RÍO HUERTAS	Río Quífo		Qda. Mitoyacu	Caina
				Qda. Capayán	Caina
		Río Chacachinche		Río Llamur	Colpas
				Río Coquín	Colpas
				Qda. Llagcha	Colpas
		Qda. Huacari		Qda. Yanacocha	Huacar
				Qda. Shiricucho	Huacar
			Qda. Palacio	Huacar	

Fuente: (Gobierno Regional de Huánuco, 2013)

También se cuenta con la siguiente información acerca de la subcuenca blanco, que son hechos por la institución del ANA en el Informe de Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Huallaga en el año 2015.

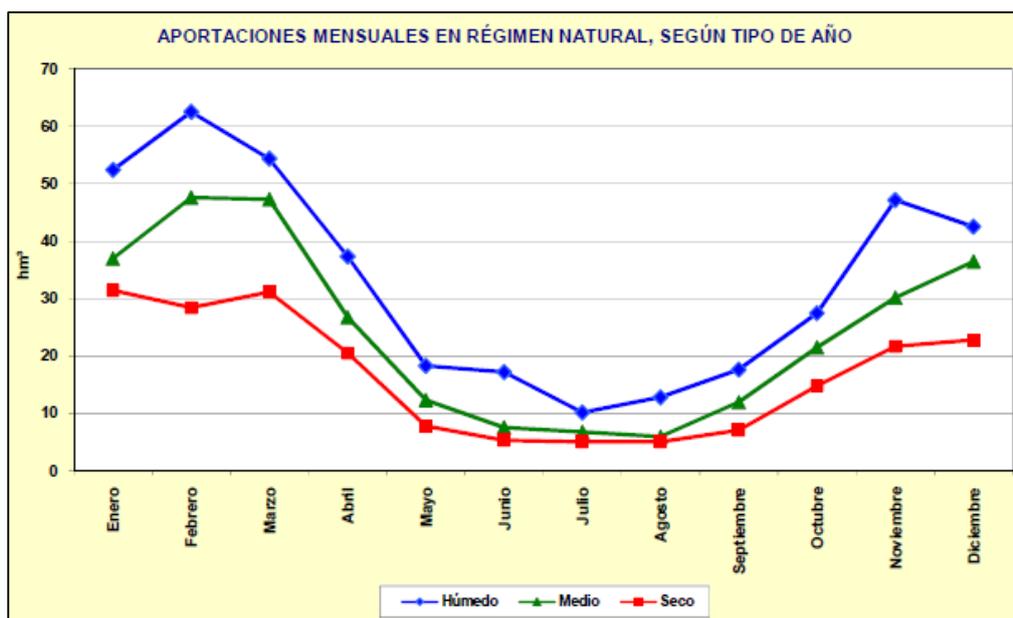
Caracterización de la variabilidad interanual para régimen natural

Figura 3. Resultados de las aportaciones mensuales y caudales diarios mensuales

RESULTADOS						
TIPO DE AÑO MES	APORTACIONES MENSUALES (hm ³)			CAUDALES DIARIOS MENSUALES (m ³ /s)		
	HÚMEDO	MEDIO	SECO	HÚMEDO	MEDIO	SECO
Enero	52,414	36,959	31,424	19,569	13,799	11,732
Febrero	62,531	47,604	28,415	24,124	18,365	10,962
Marzo	54,371	47,310	31,120	20,300	17,664	11,619
Abril	37,322	26,736	20,506	13,935	9,982	7,656
Mayo	18,274	12,265	7,787	7,554	5,070	3,219
Junio	17,171	7,517	5,311	6,411	2,807	1,983
Julio	10,125	6,727	5,038	3,906	2,595	1,944
Agosto	12,772	5,916	5,058	4,769	2,209	1,889
Septiembre	17,599	11,928	7,068	6,790	4,602	2,727
Octubre	27,465	21,511	14,789	10,254	8,031	5,522
Noviembre	47,157	30,128	21,687	17,606	11,248	8,097
Diciembre	42,535	36,446	22,766	16,410	14,061	8,783

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua , 2015)

Figura 4. Aportaciones mensuales en régimen natural



Fuente: (Autoridad Nacional del Agua , 2015)

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

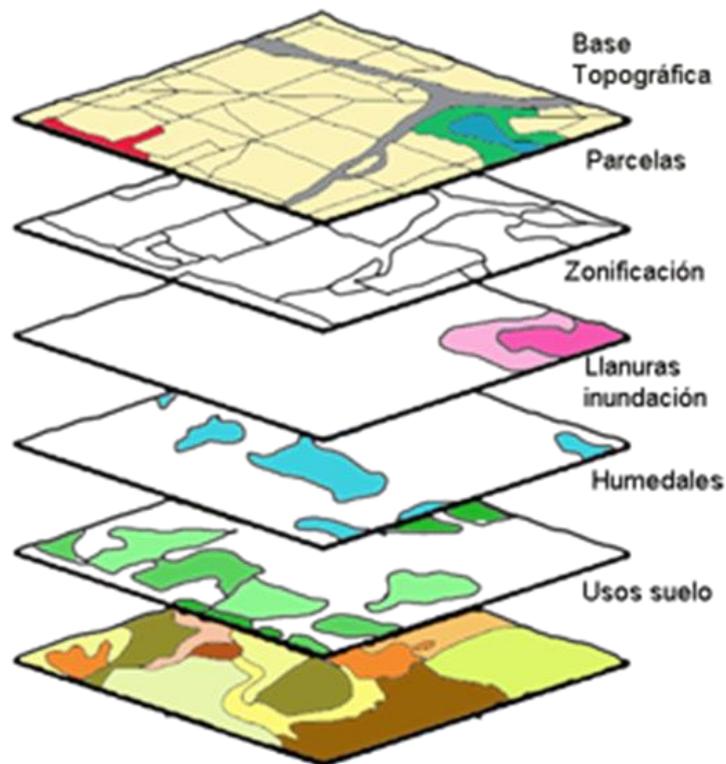
Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada. Para ello, contaremos tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que nos facilitarán esta tarea; todo ello enmarcado dentro de un proyecto que habrá sido definido por un conjunto de personas, y controlado, así mismo, por los técnicos responsables de su implantación y desarrollo. En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas.) y alfanumérica (estadísticas...) para obtener una información derivada sobre el espacio. (Bravo, 2000)

El SIG funciona como una base de datos geográfica (datos alfanuméricos) asociada a los objetos existentes en un mapa digital y dan respuesta a las consultas interactivas de los usuarios, analizando

y relacionando diferentes tipos de información con una sola localización geográfica. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente para la obtención de resultados.

Figura 5. Capas temáticas del SIG



Fuente: (UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, S.F.)

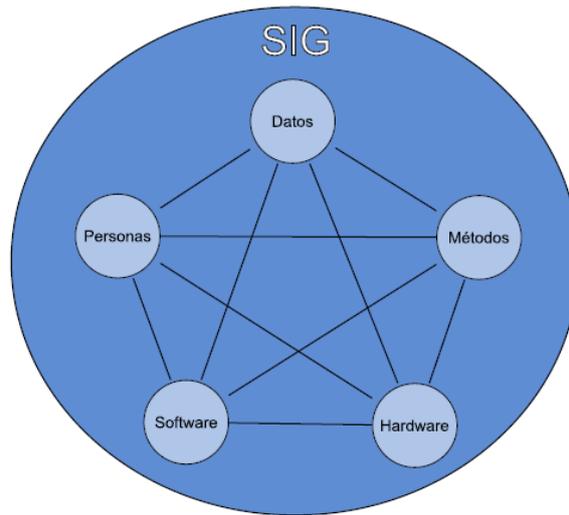
El sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen. Cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto (Olaya, 2014).

- Datos: Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- Métodos. Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos. Software. Es necesaria una aplicación informática

que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.

- Hardware. El equipo necesario para ejecutar el software.
- Personas. Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.

Figura 6 Elementos que forman el sistema SIG



Fuente: (Olaya, 2014)

Los SIG nos facilitan la ejecución de operaciones y análisis entre capas de información, nos permiten observar la distribución espacial de los resultados y resultan especialmente útiles a la hora de visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara los resultados obtenidos. (Benayas Polo, s.f.)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una tecnología para gestionar y analizar la información espacial y temporal.

Mediante la generación de una base de datos para crear mapas a nivel local, regional o estatal, con la aplicación de tablas de asignación y reclasificación, además de operaciones con superposición de las distintas capas de información que se generaron, permite una rápida ejecución y actualización posibilitando un modelo generado y tener escenarios con análisis. (Paradas, 2019)

Representan una herramienta muy útil en la integración de la información necesaria para el manejo y procesamiento de datos hidrológicos, el estudio de inundaciones, y la estimación de calidad del agua superficial o subterránea de una cuenca o región. (Instituto Superior del Medio Ambiente, 2019).

SOFTWARE ILWIS

Es preciso definir el software ILWIS, pues es con éste que se realizará el trabajo de investigación.

“ILWIS (Integrated Land and Water Information System) es un Software gratuito y de libre acceso, de integración del SIG y herramientas para el procesamiento y análisis de productos generados por sensores remotos. Diseñado originalmente en 1985 por ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences Holanda)”.

De acuerdo a ITC, el sistema operativo de software del ILWIS incluye procesamiento de imágenes, análisis espacial, preparación de mapas, y en línea están dispuestos los tutoriales con al menos 25 estudios de caso que incluyen varias disciplinas y diferentes aplicaciones.

El Sistema Integrado de Información de la Tierra y el Agua (ILWIS) es un software de SIG y teledetección basado en PC. ILWIS comprende un paquete completo de procesamiento de imágenes, análisis espacial y mapeo digital. Es fácil de aprender y usar. (ITC, 2018)

ILWIS ofrece una amplia gama de características que incluyen importación/exportación, digitalización, edición, análisis y visualización de datos, así como la producción de mapas de calidad (52°North, 2019).

La funcionalidad de ILWIS para datos raster son: cálculo de distancia, generación de un modelo digital de elevación (DEM), cálculo de pendiente / aspecto, derivación de mapas de atributos, clasificación de mapas, cruce de mapas y manipulación matemática de valores de

píxeles de mapas son algunas de las muchas funciones de ILWIS. (ILWIS, 2018)

Para las imágenes satelitales, incluye: muestreo y clasificación, filtrado, estadísticas multibanda. Además, ILWIS proporciona herramientas de edición para el cálculo de datos espaciales y tabulares sobre datos mediante la integración de objetos ILWIS en Python y la conexión a datos y operaciones externas a través de conectores fuente y operativos. (ILWIS, 2018)

Aplicativo 11. El aplicativo 11, se sustenta en el uso del método modificado de Fórmula Racional, y el hidrograma unitario adimensional SCS para una precipitación superior a 1 cm, información con la cual se determina la escorrentía pico.

“La fórmula racional es usada comúnmente para determinar la tasa de escorrentía pico”:

$$QP= 0.28* C*I*A$$

Donde:

QP= Tasa de escorrentía pico [M3/s]; C= Coeficiente de escorrentía [-]
I=Intensidad de lluvia [Mm/hr]; A= Área de drenaje [Km2].

El Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico –RAS publicado por el Ministerio de Desarrollo en 2000, considera que el método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 hectáreas; e indica que cuando las áreas son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos lluvia escorrentía. Por tanto, se considera esta la limitación del método.

“La fórmula racional se caracteriza por considerar el área de drenaje como una sola unidad, también se considera que el flujo ocurre en puntos aguas abajo y supone que la precipitación se distribuye uniformemente sobre el área de drenaje.

Adicionalmente la fórmula racional asume que la descarga máxima pico tiene el mismo periodo de retorno, el coeficiente de escorrentía (C) es

constante durante la tormenta de lluvia, y el tiempo de recesión es igual al tiempo de subida”

En cuanto al coeficiente de escorrentía se considera que es el grado de permeabilidad de la zona, por tanto, este factor depende del tipo de suelo, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía.

La versión modificada de la fórmula racional, incluye un coeficiente de almacenamiento para incluir una recesión en el tiempo mayor, en el que el hidrograma muestra un pico. La Fórmula Racional versión modificada propone lo siguiente:

$$QP= 0.28*CS* C*I*A$$

Donde:

CS: Coeficiente de almacenamiento [-]

Se acota que, “el coeficiente de almacenamiento, es el volumen de agua que un acuífero cede o libera por unidad de espesor del acuífero cuando este desciende, por tanto este depende exclusivamente del suelo y del tipo de acuífero, a diferencia del coeficiente de escorrentía que además de depender de factores como el suelo, también depende de otros factores como la pendiente”.

Otra fórmula usada por el aplicativo 11 para el cálculo de tiempo de concentración es la fórmula Kirpch / Ramser:

$$tC= 0.0195*L^{0,77}*S^{0,385}$$

Donde:

tC= Tiempo de concentración [Min]; L= Longitud del río principal [M]

S= Pendiente ponderada del canal [M/m].

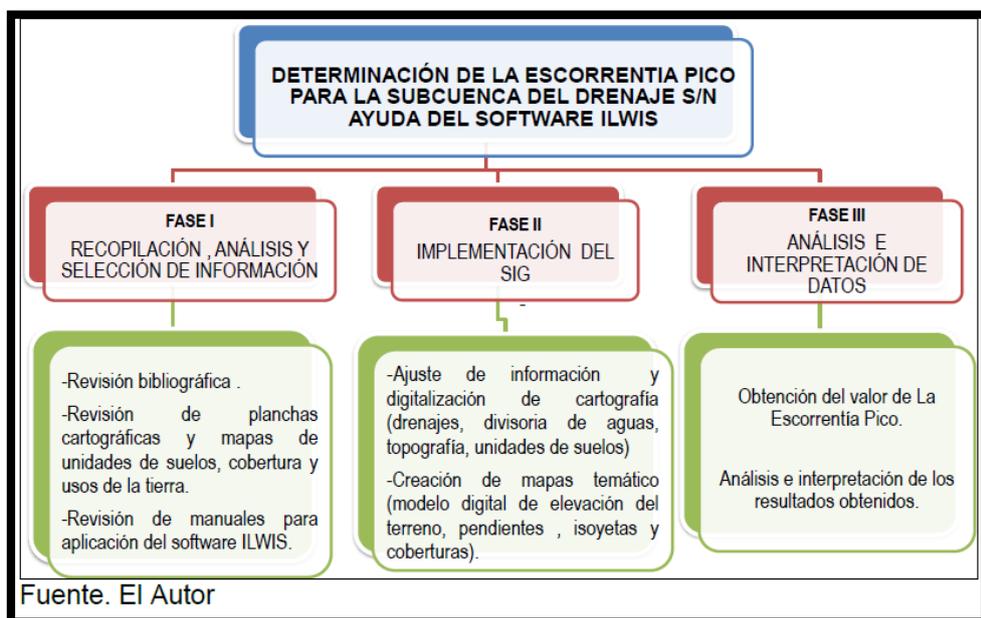
La longitud del río principal se puede calcular mediante la realización de una operación de distancia ponderada en el mapa del río, usando el punto más aguas abajo del río como punto de partida. Al igual la pendiente ponderada de canal, se puede calcular con el modelo de elevación de la cuenca, y la operación entre la altura de dos puntos a lo largo del río y la distancia entre ellos.

Es de anotar que el coeficiente de escorrentía está relacionado con la cobertura edafológica y los grupos hidrológicos de suelos, para lo cual ILWIS cuenta con las opciones y operadores de reclasificación de los mapas de uso de suelos¹.

Metodología

El presente trabajo de grado, se desarrolla en tres fases: recopilación y análisis de información; implementación del SIG y análisis e interpretación de datos, como se ilustra a continuación.

Figura 7. Diagrama esquemático de la metodología propuesta para el desarrollo del trabajo de grado.



Fuente: (Cuevas, 2014)

FASE I

Recopilación, análisis y selección de información - En esta etapa se adquirieron y se compilaron las bases cartográficas del IGAC a escala 1:25.000, pertenecientes al área de La Subcuenca del Drenaje S/N que corresponden a la plancha identificada como: 266-III-B.

Para la información relacionada con la temática de suelos, se adquirió los mapas de unidades de suelos; cobertura y uso de la tierra del IGAC (1997) plancha 266, escala 1:100.000.

¹ INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCES. Aplicación 11 [en línea]. Holanda: La Empresa [citado 18 febrero, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.itc.nl/ilwis/applications/application11.asp>> 21

Los datos hidrológicos y físicos considerados para la caracterización hidrológica de la subcuenca del Drenaje S/N, corresponden a la información procesada en el Plan de Ordenación y manejo de la cuenca del Río, cuya referencia fueron estaciones climatológicas, pluviométricas, climatológicas ordinarias, Climatológica principal, Sinóptica principal y sinóptica secundaria, existente en el área de influencia de la cuenca del Río.

Para el desarrollo del presente trabajo se consideró exclusivamente las estaciones relacionadas en el siguiente Cuadro (PM = Pluviométrica), ubicadas relativamente cerca de la subcuenca del Drenaje S/N.

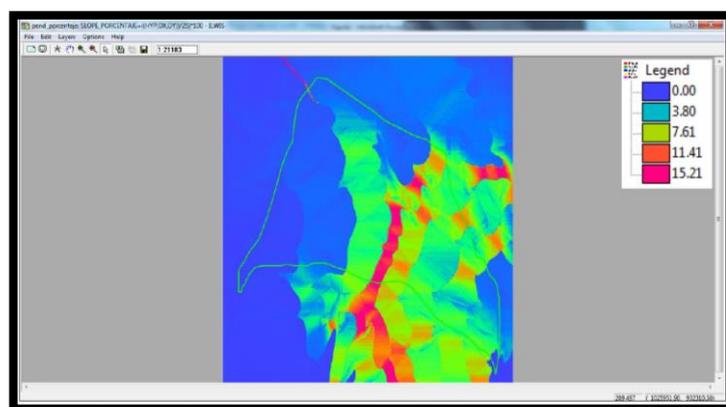
FASE II

Implementación del Software ILWIS. Contando con la base cartográfica, en esta etapa se digitalizaron las curvas de nivel, el Drenaje S/N y sus tributarios. Con el procesamiento de la anterior información, se generó el modelo de elevación digital de terreno; mapa de pendientes, se ejecutó la digitalización de las unidades de cobertura de uso de suelos, y se generó el mapa hidrológico de la subcuenca, información con la cual se corrió el software ILWIS aplicativo 11, y se determinó la escorrentía pico usando el método racional modificado.

FASE III

Análisis e interpretación de datos. Una vez obtenidos los datos se procedió al respectivo análisis y discusión de los resultados arrojados por el Software.

Figura 8. Resultados de procesamiento de datos.



Fuente: (Cuevas, 2014)

SOFTWARE HIDROESTA

Hidroesta, es una herramienta que facilita y simplifica los cálculos laboriosos, y el proceso del análisis de la abundante información que se deben realizar en los estudios hidrológicos (Villon M. , 2016).

Este software permite:

- El cálculo de los parámetros estadísticos, para datos agrupados y no agrupados, tanto con los momentos tradicionales como con momentos lineales.
- Cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple así como regresión polinomial.
- Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal de 2 y 3 parámetros, gamma de 2 y 3 parámetros, log-Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios, como con momentos lineales. Si la serie de datos se ajusta a una distribución, permite calcular por ejemplo caudales o precipitaciones de diseño, con un período de retorno dado o con una determinada probabilidad de ocurrencia.
- Calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia.
- Realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, así como la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno dado, a partir del registro de intensidades máximas. También permite el cálculo de la precipitación promedio por los métodos promedio aritmético, polígono de Thiessen e isoyetas.
- Los cálculos de aforos realizados con molinetes o correntómetros.

- El cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash).

Cálculos de la evapotranspiración con los métodos de Thorthwaite, Blaney-Cridle, Penman, Hargreaves y cálculo del balance hídrico.

HIDROLOGÍA

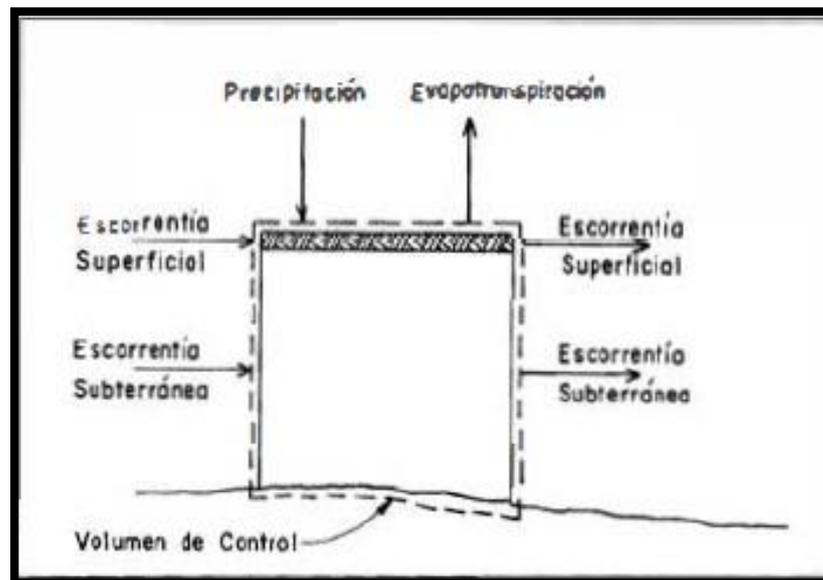
Ecuación fundamental de la hidrología

$$I - Q = \Delta S / \Delta t$$

En palabras significa:

"Lo que entra menos lo que sale es igual al cambio de almacenamiento". La ecuación se calcula para un determinado periodo de tiempo y para un volumen de control (Monsalve, 2005).

Figura 9. Volumen de control para la aplicación de la ecuación fundamental de la hidrología



Fuente: (Monsalve, 2005)

Importancia de la hidrología

La hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo, los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, la planeación y la operación de estructuras hidráulicas (Villon, 2002).

Entre estos problemas se pueden mencionar:

- Determinar si el volumen aportado por una cierta corriente es suficiente para:
 - ✓ El abastecimiento de agua potable a una población
 - ✓ El abastecimiento de agua potable a una industria
 - ✓ Satisfacer la demanda de un proyecto de irrigación
 - ✓ Satisfacer la demanda de un proyecto de generación de energía eléctrica
 - ✓ permitir la navegación
- Definir la capacidad de diseño de obras como:
 - ✓ Alcantarillas
 - ✓ Puentes
 - ✓ estructuras para el control de avenidas
 - ✓ presas
 - ✓ vertederos
 - ✓ sistemas de drenaje

MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

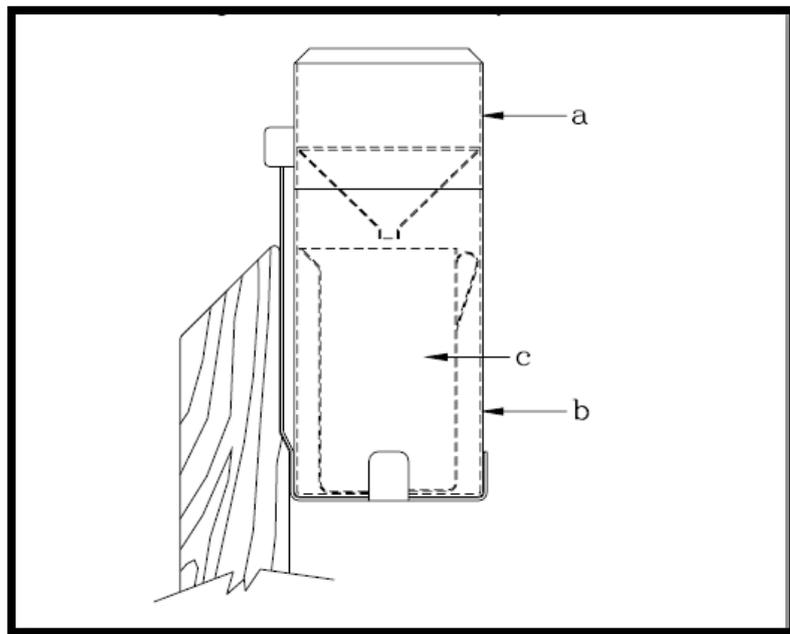
Pluviómetros

El pluviómetro es un instrumento concebido para medir la altura de agua precipitada, en la hipótesis de distribución homogénea horizontal y sin efecto de evaporación.

El SHN tiene oficializados dos tipos de pluviómetros, de los cuales el que se halla en uso en la actualidad es el denominado Tipo B, el cual está compuesto de tres secciones principales (Villodas, 2008).

- ✓ La sección superior (a), que es la receptora, tiene una boca circular de 200 cm² (16 cm de diámetro), formada por un aro de bronce reforzado, con su arista superior afilada y achaflanada a 45 con la cara inclinada hacia afuera (Villodas , 2008)

Figura 10. Pluviómetro tipo B



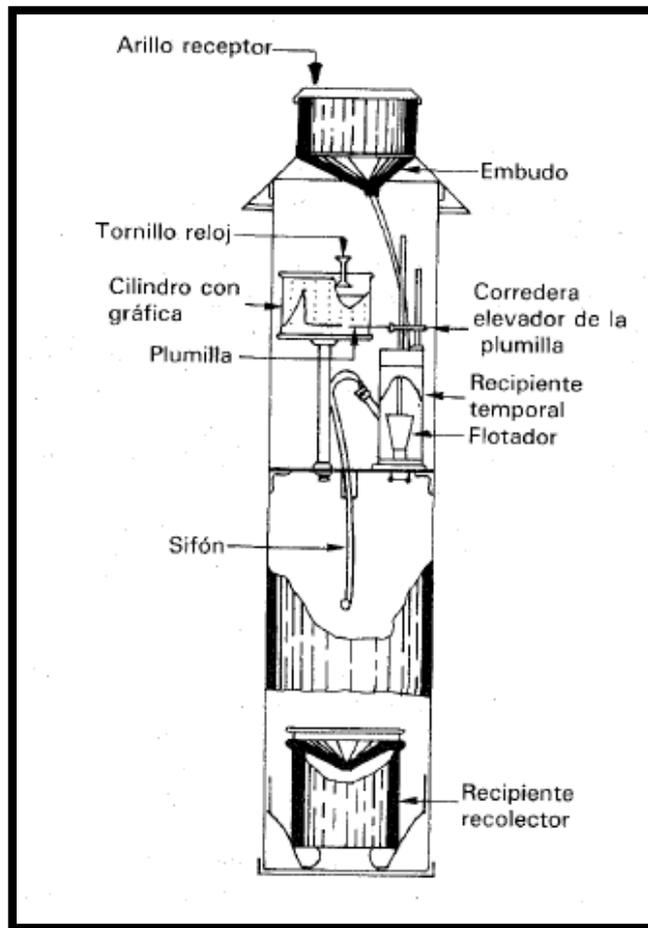
Fuente: (Villodas, 2008)

Pluviógrafos

El pluviógrafo, que consiste básicamente en un pluviómetro que incluye un dispositivo de registro cronológico de las alturas de agua precipitadas, o de envío de la información correspondiente a pequeños intervalos de tiempo a un centro computarizado de almacenamiento de datos (Villodas, 2008).

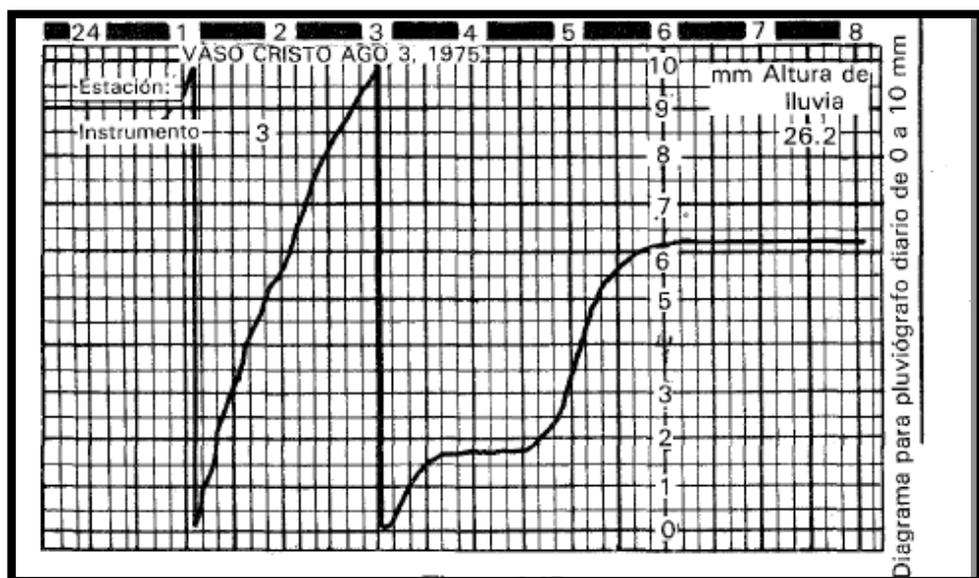
El empleo de este nos permitirá obtener registros continuos estos son llamados pluviogramas, además de que podremos determinar las intensidades de lluvias producidas en intervalos de tiempos previamente fijados.

Figura 11. Pluviógrafo



Fuente: (Aparicio Mijares, 1996)

Figura 12 .Pluviograma



Fuente: (Aparicio Mijares, 1996)

Red Pluviométrica

Los usos para los cuales se deba utilizar la información sobre la precipitación son los que determinan la densidad de una red. Para el estudio de grandes tormentas o para determinar los promedios de extensas áreas de llanura, debería ser suficiente una red de estaciones relativamente dispersa (Villodas, 2008).

COMPLETACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS

Según Villon (2011): La extensión de la información, es el proceso de la transferencia de información desde una estación con largo registro histórico a otra con corto registro; la completación de datos, es el proceso por el cual, se llenan “huecos” que existen en un registro de datos. La completación es un caso articular de la extensión.

La completación y la extensión de la información hidrometeorológica faltante se efectúa para tener en lo posible series completas, más confiable y de un periodo uniforme.

Muchas estaciones de precipitación y descargas tienen periodos faltantes en sus registros, debido a la ausencia del observador o a fallas instrumentales.

A menudo es necesario estimar alguno de estos valores faltantes para lo cual existen muchas formas de suplir estas deficiencias y el grado de aceptación de uno de estos métodos va a depender de la cantidad de observaciones faltantes en el registro de datos.

Para la determinación de los datos faltantes se utilizan variados métodos, los cuales normalmente se basan en fórmulas empíricas, donde se relacionan determinadas variables hidrológicas que, independientemente de su base teórica, responden a la estructura de un estudio estadístico (Mintegui y López, 1990).

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

El análisis de consistencia de datos pluviográficos se hace con el fin principal de que los datos de la estación analizada presenten una homogeneidad dentro del periodo evaluado.

Las causas principales de la pérdida de homogeneidad son (Medina Días & Matos Bustamante , 1999):

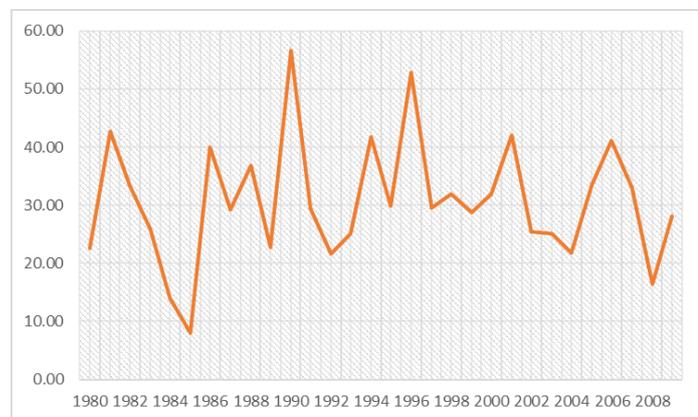
- Cambio de la localización del pluviométrico.
- Cambio en la forma de exposición del pluviométrico.
- Cambio en el proceso de observación o reemplazo del operador.
- Construcción de embalses en las cercanías.
- Deforestación y reforestación de la zona.
- Apertura de nuevas áreas de cultivo en los alrededores.
Industrialización en áreas circundantes.

Las metodologías usadas para el análisis de consistencia son las siguientes:

Análisis visual gráfico

En coordenadas cartesianas se plotea la información hidrológica histórica, ubicándose en las ordenadas, los valores de la serie y en las abscisas el tiempo (años, meses, días, etc.).

Figura 13. Análisis visual

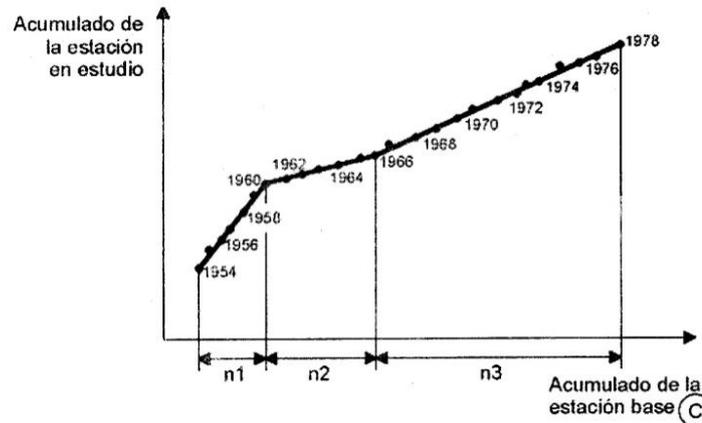


Fuente: PROPIA

Análisis doble masa

Este análisis se utiliza para tener una cierta confiabilidad en la información, así como también, para analizar la consistencia en relacionado a errores, que pueden producirse durante la obtención de los mismos, y no para una corrección a partir de la recta doble masa.

Figura 14. Análisis doble masa para obtener los periodos de estudio (n1, n2, n3)



Fuente electrónica: <https://es.slideshare.net/davihg/2-analisis-de-consistencia>

Análisis estadístico

Análisis de Saltos

Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero el análisis generalmente se hace en los dos mencionados pues son más importantes, estas se realizan de la siguiente manera.

1. Consistencia de la media

- a) Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras según:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j ; S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

x_i = valores de la serie del periodo 1.

x_j = valores de la serie del periodo 2.

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = Media de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$ = Desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente.

N = Tamaño de la muestra.

b) Cálculo del (tc) calculado según:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_d}$$

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

Además:

S_d = Desviación de las diferencias de los promedios

S_p = Desviación estándar ponderada

c) Cálculo del t tabular

El valor critico de t con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5%, es decir $\alpha/2 = 0.025$ y con grados de libertad $y = n_1 + n_2 - 2$

d) Comparación del tc con el tt

Si, $|t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ en este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$, estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.

Si, $|t_c| > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ en este caso siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$, estadísticamente, se debe corregir la información.

2. Consistencia de la Desviación Estándar

a) Cálculo de la desviación estándar

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2}$$

$$S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

b) Cálculo del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} ; \text{ si } S_1^2 > S_2^2$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} ; \text{ si } S_2^2 > S_1^2$$

c)

$$\left. \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_2 - 1 \end{array} \right\} \text{ si } S_1^2 > S_2^2$$

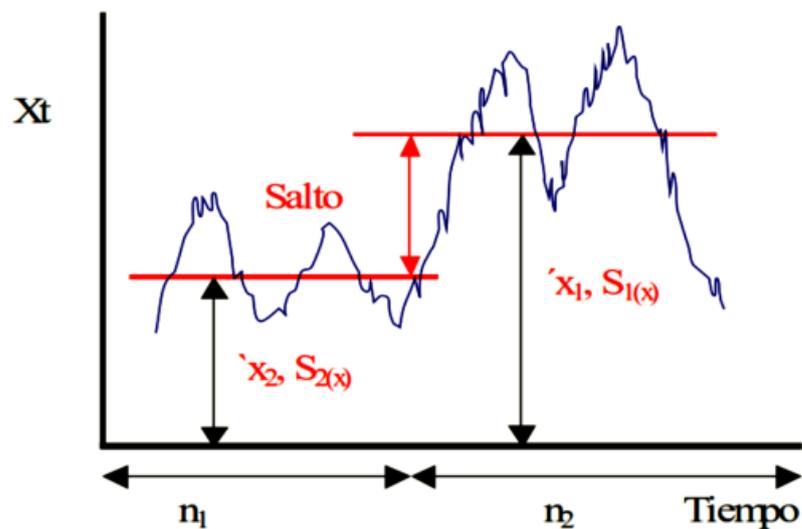
$$\left. \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_2 - 1 \end{array} \right\} \text{ si } S_2^2 > S_1^2$$

d) Comparación del tc con el tt

$$\text{Si, } F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$$

Si, $F_c > t_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ en este caso, se debe corregir la información.

Figura 15. Forma típica de un salto



Fuente: (Tarazona Santos, 2005)

Análisis de tendencias

1. Tendencia en la Media

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots$$

Y en forma particular por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t$$

Donde:

t = tiempo en años, tomado como la variable independiente

$t = 1, 2, 3, \dots, n$

T_m = tendencia de la media, para este caso:

$T_m = X'_{(t)}$, valor corregido de saltos, es decir, datos a usarse para el cálculo de los parámetros

$A_m, B_m, C_m, D_m, \dots$ = coeficientes de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos.

Los parámetros de regresión de estas ecuaciones, pueden ser estimados por el método de mínimos cuadrados, o por el método de regresión lineal múltiple.

a. Cálculo de los parámetros de la ecuación de simple regresión lineal

$$A_m = \bar{T}_m - \bar{t} \cdot B_m$$

$$B_m = R \cdot \frac{S_{tm}}{S_t}$$

$$R = \frac{\overline{t \cdot T_m} - \bar{t} \cdot \bar{T}_m}{S_t \cdot S_{tm}}$$

Donde:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{mi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X'_{(t)_i}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i$$

$$\overline{t \cdot T_m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot T_{mi}$$

$$S_{tm} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T_{mi} - \bar{T}_m)^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

$$S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

Además:

\bar{T}_m = promedio de las tendencias T_m , o promedio de los datos corregidos de saltos

\bar{t} = promedio del tiempo t

S_{tm} = desviación estándar de la tendencia de la media T_m

S_t = desviación estándar del tiempo t

b. Evaluación de la tendencia T_m

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión B_m o también el coeficiente de correlación R .

2. Cálculo del estadístico t según:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

Donde:

t_c = valor del estadístico t calculado,

n = número total de datos,

R = coeficiente de correlación

3. Cálculo de t_t :

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$G.L. = n-2$$

a) Comparación del t_c con el t_t

Si, $|t_c| \leq t_t$ (95%) \rightarrow R no es significativo

En este caso, la tendencia no es significativa y no hay que corregir.

Si, $|t_c| > t_t$ (95%) → R si es significativo

En este caso, la tendencia es significativa y hay necesidad de corregir la información de tendencia en la media.

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Las medidas de bondad lo que hacen en resumen es la diferencia entre los valores observados y los valores esperados en el modelo de estudio. Para la hidrología nos permite examinar para cada distribución de probabilidad y escoger la de mejor ajuste.

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la prueba de Chi Cuadrado y la Kolmogorov – Smirnov, las cuales se describen a continuación:

Prueba de Chi Cuadrado

Esta prueba fue propuesta por Karl Pearson en 1900, se aplica para verificar bondad de las distribuciones normales y log normales (MTC, 2008).

Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en un número k de intervalos de clase. Luego se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i$$

Dónde: θ_i es el número observado de eventos en el intervalo i y ε_i es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

ε_i se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i=1, 2, \dots, k$$

Asimismo; $F(S_i)$ es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo i , $F(I_i)$ es la misma función en el límite inferior y n es el número de eventos.

Una vez calculado el parámetro D para cada función de distribución considerada, se determina el valor de una variable aleatoria con distribución X^2 para $v = k-1-m$ grados de libertad y un nivel de significancia α , donde m es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq X^2_{1-\alpha, k-1-m}$$

El valor de $X^2_{1-\alpha, k-1-m}$ se obtiene de tablas de la función de distribución X^2

La Prueba de Bondad de Ajuste Chi Cuadrado es el *test de bondad de ajuste* más utilizado. En general un *test de bondad de ajuste* se utiliza para discriminar si una colección de datos o muestra se ajusta a una distribución teórica de una determinada población. En otras palabras, nos dice si la muestra disponible representa (ajusta) *razonablemente* los datos que uno esperaría encontrar en la población. (Probabilidades y Estadística, 2017)

Puede ser utilizado para trabajar tanto con distribuciones discretas como así también con distribuciones continuas, por ejemplo (Distribución Normal, Distribución Exponencial, etc.). Esto a diferencia de las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling que sólo pueden ser utilizados para trabajar con distribuciones continuas. (Probabilidades y Estadística, 2017)

Una desventaja que presenta es que requiere una muestra *suficientemente grande* de modo que la aproximación de chi cuadrado sea válida

Prueba de Kolmogorov Smirnov (KS)

Es una prueba de bondad de ajuste, que sirve para contrastar la hipótesis nula de que la distribución de una variable se ajusta a una determinada distribución teórica de probabilidad que puede ser con

tendencia a la normal, a la de Poisson o exponencial. (Berlanga Silvente & Rubio Hurtado, 2011)

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$:

$$D = \max / F_o(x_m) - F(x_m) /$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 1). Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de X^2 de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - m / (n+1)$$

Donde m es el número de orden de dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos. (Aparicio Mijares, 1996)

Tabla N° 1 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha_i = 0.1$	$\alpha_i = 0.05$	$\alpha_i = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32

Fuente: (Aparicio Mijares, 1996)

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Chow (1951) ha demostrado que muchos análisis de frecuencias pueden ser reducidos a la forma:

$$X_T = \bar{X}(1 + C_v K_T)$$

Donde X_T es la magnitud del evento que tiene un periodo de retorno T y K_T es un factor de frecuencia.

DISTRIBUCIÓN NORMAL

Las principales limitaciones de la distribución normal en la descripción de variables hidrológicas son, por un lado, que ésta varía a lo largo de un rango continuo, mientras que la mayor parte de las variables hidrológicas son no negativas, y, por otro lado, que es simétrica alrededor de la media, mientras que la información hidrológica tiende a ser asimétrica. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Para la distribución normal se puede demostrar que K_T es la variable reducida z . El cuadro de la variable reducida z , relacionando con las áreas acumuladas de la curva que representa la distribución normal estándar, puede ser utilizado junto con la ecuación anterior para determinar la magnitud de eventos distribuidos normalmente, correspondientes a varias probabilidades

DISTRIBUCIÓN LOGARITMO-NORMAL (log-normal)

Los factores de frecuencia K_T para la distribución normal están en función del coeficiente de asimetría u oblicuidad C_s de los datos originales y del periodo de retorno (o probabilidad de excedencia) (Monsalve, 2005)

El método se aplica de la siguiente manera:

1. Calcule la media \bar{x} de los valores de la serie
2. Calcule la desviación estándar S de los valores de la serie

3. Calcule el coeficiente de oblicuidad o asimetría C_s de los n valores de la serie.

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

4. Calcule

$$X_T = \bar{X} + SK_T$$

DISTRIBUCIÓN LOG- PEARSON TIPO III

Este método se puede aplicar de la siguiente manera (Monsalve, 2005):

1. Transforme las n magnitudes de los valores anuales hidrológicos x_i a sus valores logarítmicos y_i

$$y_i = \log x_i \quad \text{para } i=1,2, 3,\dots,\dots,\dots,n$$

2. Calcule la media de los logaritmos \bar{Y}

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n y_i/n$$

3. Calcule la desviación estándar de los logaritmos S_y

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

4. Calcule el coeficiente de oblicuidad o asimetría C_s de los n valores de la serie.

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

5. Calcule

$$Y_T = \bar{Y} + S_y K_T$$

6. Calcule

$$X_T = \text{Antilog} Y_T$$

DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Chow (1951) presento la siguiente relación del factor de frecuencia para la distribución de máximos valores extremos tipo I para una muestra de tamaño infinito.

$$K_T = -0.7797 \left[0.5772 + \ln \left[\frac{\ln T_x(x)}{T_x(x) - 1} \right] \right]$$

De donde $T_x(x)$ es el periodo de retorno deseado de la cantidad que esta siendo calculada.

MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Es el método racional según la formulación propuesta por Temez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas. (MTC, 2008).

La fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 \text{ CIAK}$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

K: Coeficiente de Uniformidad

Las fórmulas que definen los factores de la formula general son los siguientes (MTC, 2008)

A) Tiempo de Concentración (Tc)

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

Donde:

L= Longitud del cauce mayor (km)

S= Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

B) Coeficiente de Uniformidad

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

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

C) Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (K_A)

$$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} A}{15} \right)$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km^2)

D) Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = k_A P_d$$

Donde:

k_A : Factor reductor

P_d : Precipitación máxima diaria

E) Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida (mm)

F) Coeficiente de Escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2}$$

Donde:

P_d : Precipitación máxima diaria (mm)

P_0 : Umbral de escorrentía = $\left(\frac{5000}{CN}\right) - 50$

CN : Numero de curva

También se Estableció algunas diferencias entre el método racional y el método racional modificado y concluyó que la característica que determina las diferencias más significativas es la geometría de la cuenca, pues:

- Si la cuenca tiene una superficie mayor a 1km² y menor a 3.000km², el valor de la Precipitación Máxima Diaria (P_d) se ve reducido, es decir a mayor Área de Cuenca, menor es el valor de P_d , y en consecuencia menor es el coeficiente de escorrentía C y la Intensidad Media de precipitación. (Olivera, 2014)
- Si la cuenca es muy llana, es decir la relación entre longitud y pendiente es muy elevada, el tiempo de concentración de la cuenca es alto, con lo que su coeficiente de uniformidad K se ve aumentado (Olivera, 2014).

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (E_s) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos valores se le denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{E_s}{P}$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su

intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo: del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, micro relieve. rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la interceptación que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero. horas, días, meses. un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. (Martinez de Azagra Paredes, 2006)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Estas definiciones son un extracto de los términos técnicos que serán involucrados en la investigación, para tener una comprensión clara.

- **Caudal**

El caudal es definido como el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo. Es la principal variable la escorrentía superficial (Monsalve, 2005)

- **Coeficiente de escorrentía**

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiéndose que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc.

- **Cuenca hidrográfica**

Es un sistema, es una unidad geográfica e hidrológica, formada por un río principal y todos sus territorios asociados entre el origen del río y su desembocadura. Esta incluye el área y los ecosistemas (territorios y ríos menores, aguas subterráneas o acuíferos, zonas costeras y su influencia en el mar) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2019)

- **Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica es un parámetro relativo al relieve de la cuenca que representa la variación entre la altitud o cota y el área drenada por debajo o por encima de dicha altitud (Monsalve, 2005)

- **Distribución teórica de probabilidad**

Función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho suceso ocurra. Muestra todos los resultados posibles de un experimento y la probabilidad de cada resultado. (EcuRed contributors, 2019)

- **Hidrología**

La Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos. (Villon, 2002)

- **Periodo de Duración**

Es un determinado período de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. Su conocimiento tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas. (Villon, 2002)

- **Periodo de Retorno**

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada "T" años. (MTC, 2008)

- **Precipitación**

La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. (Villon, 2002)

- **Tiempo de concentración**

Es el tiempo de equilibrio o duración necesaria para que con una intensidad de escorrentía constante se alcance el caudal máximo. (Barranco Sanz & Alvarez Rodriguez , 2009)

2.4. HIPÓTESIS

Las hipótesis son las guías de una investigación o estudio. Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado. (Hernández Sampieri, 2014).

H0: La determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS no mejora el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

H1: La determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS mejora el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

2.5. VARIABLES

Éstas son de vital importancia, pues éstas pueden cambiar en el transcurso del trabajo. Así pues, con la precisión con que se realice depende el éxito de la investigación. (Carballo Barcos, 2016).

En este caso la mayoría de las variables fueron extraídas de la hipótesis formulada.

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

X_1 : Caudal máximo con aplicación del Software ILWIS

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Y_1 : Dimensionamiento de Nuevas Obras hidráulicas

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla Nº 2 Operacionalización de Variables

Variable	Tipo de variable	Dimensión	Indicador
Caudal máximo con aplicación del Software ILWIS	Independiente	Dato hidrométrico	Avenidas máximas Curvas I-D-F Cálculo del tiempo de concentración.
		Geomorfología de la subcuenca	Divisoria de Agua Parámetros geomorfológicos
		Uso de suelo	Cultivos Predios y/o parcelas
		Hidrografía	Ríos Lagunas
Dimensionamiento de Nuevas Obras hidráulicas	Dependiente	Redes de abastecimiento de agua	Bocatomas Canales
		Obras de drenaje	Drenaje de agua pluvial (cunetas)
		Defensas ribereñas	Muros de contención Gaviones

Fuente: propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La investigación es del tipo cuantitativa, ya que consiste en el contraste de teorías ya existentes y a través de una prueba de hipótesis que surgen de las mismas, siendo necesario tener una muestra representativa. (Tamayo, 2007) .Ya que en la presente investigación se encuentran involucradas en todo su desarrollo magnitudes numéricas, pues el resultado final de la investigación consiste en la determinación del caudal máximo, además que para su obtención se realiza cálculos previos, como son los parámetros morfométricos de la cuenca y las intensidades para diferentes periodos de retorno, además de que todo el estudio se hará a la muestra que es la subcuenca Blanco.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

En esta parte expondremos el grado de profundidad al cual llegaremos en la investigación, por las características que presenta se define que, el nivel de la investigación es correlacional ya que estos tienen por objeto medir el grado de relación significativa que existe entre dos o más variables, conocer el comportamiento de una variable dependiente a partir de la información de la variable independiente. (Caballero Romero, 2008). Puesto que el caudal máximo tiene una relación estrecha con el tipo de obra hidráulica a realizar, y que varía en función de cómo se modifica esta variable. Así también podemos definirla como descriptiva comparativa puesto que se quiere establecer diferencias y/o similitudes de dicho caudal con los obtenidos por otros profesionales.

3.1.3. DISEÑO

Esta investigación es no experimental pues no haremos ninguna manipulación de las variables, que trabajará con los datos en forma natural y posteriormente se analizará el resultado.

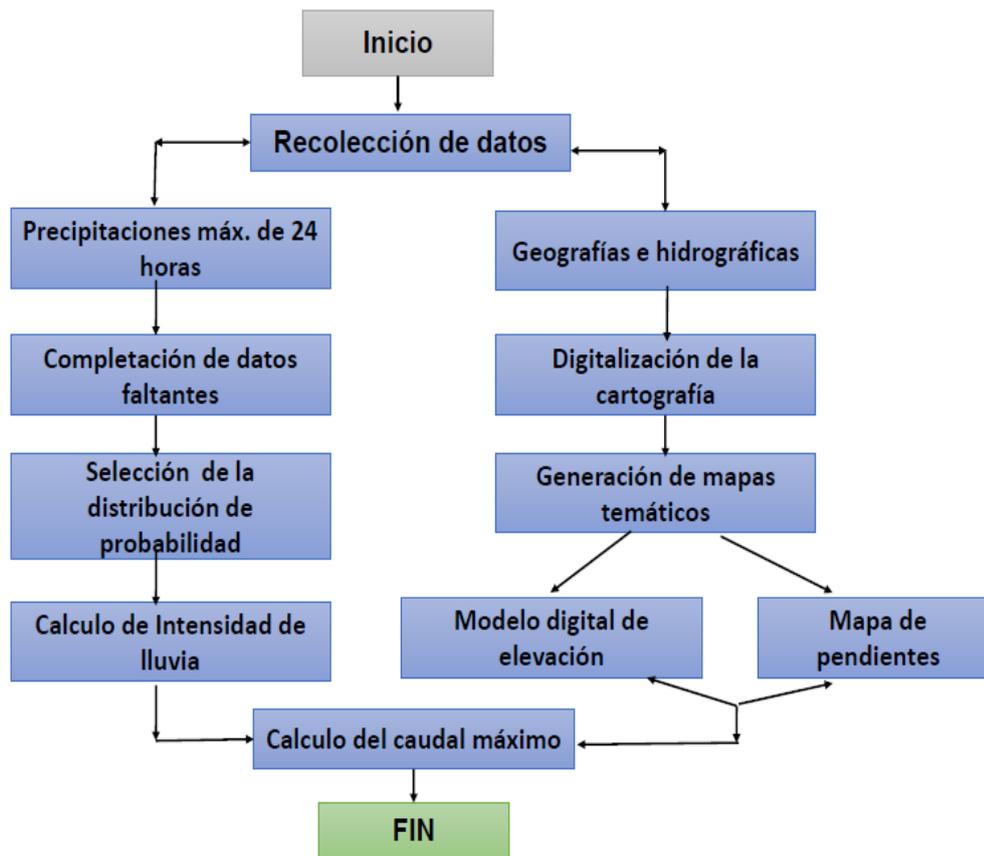
Diseño de Ingeniería

Para iniciar lo primero es hacer la selección y recolección de datos de precipitación, una vez obtenida los datos necesarios, se procederá a hacer la completación de datos faltantes, con el uso del software Hidroesta, después de tener completamente los datos se proseguirá al análisis a través de cada una de las distribuciones de probabilidad con las que cuenta el software Hidroesta, para posteriormente elegir la que cumpla con la prueba de ajuste de bondad. Una vez hecho la elección se hará el cálculo de la intensidad y posterior a eso se generará las curvas I-D-F.

Una vez concluido se dará paso al procesamiento de la información geográfica y a la digitalización de cartografía (drenajes, divisoria de aguas, topografía, unidades de suelos). El resultado obtenido son los mapas temáticos (modelo digital de elevación del terreno, pendientes, isoyetas y coberturas). (Cuevas Gomez, 2014)

Después, con los datos de intensidades y se crea el mapa hidrológico de la subcuenca Blanco. Tranca, para finalmente usar el aplicativo 11 del software ILWIS para el cálculo de caudal máximo.

Figura 16. Flujograma del diseño de ingeniería



Fuente: propia

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El trabajo de investigación tomará como su población a todas las subcuencas que pertenecen a la cuenca Huallaga.

3.2.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra será la subcuenca Blanco, de aquí se obtendrá la información de los usos de suelo, así como las características físicas (área y perímetro).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica utilizada es la recolección de datos, teniendo como instrumento las fuentes de información – fuentes secundarias.

Fuentes Secundarias: Información obtenida desde documentos: historia clínica, expediente académico, estadísticas, datos epidemiológicos, censo, etc. (Diplomado en Aprendizaje Orientado a Proyectos).

Para la obtención de datos de precipitación se hará a través de registros de las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el cual cuenta con registro de datos históricos en su plataforma virtual, los datos que no se encuentren aquí se pedirán a la entidad por medio de una solicitud. Las estaciones a tomar en cuenta serán las ubicadas dentro de la subcuenca Blanco y otras adyacentes a ésta.

Para la información necesaria utilizada en el software ILWIS, que son imágenes satelitales, estas fueron extraídas del Google Earth, también se requiere los DEM de la superficie de la subcuenca, para lo cual se descargó de la página del Earth Explorer, pues este era el único que contaba con un DEM en formato Geo TIFF con coordenadas geográficas de latitud y longitud que abarcaba toda la subcuenca, previamente a la descarga se hizo el registro necesario, y se ingresó un área rectangular donde se encontraba la subcuenca.

Para la información con que se hará el análisis comparativo se obtuvo de El Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE), donde se encuentran los expedientes técnicos de las obras hidráulicas, se buscará para cada entidad de los distritos que se encuentran dentro de subcuenca Blanco.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos recopilados como los resultantes se presentan en tablas hechas en hojas Excel, algunas de estas se hicieron de forma resumida para mayor comprensión. Se presentan también curvas previamente analizadas, que permiten visualizar mejor lo expresado en el cálculo y por supuesto de gráficos obtenidos del procesamiento en el software ILWIS.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Se acudió al análisis de estudios con contenido que se refieren directamente con el proceso de cálculo es decir con el criterio para la selección de metodologías, tomando las que se adaptan al estudio. Asimismo, se realizaron análisis estadísticos a los datos de precipitación de las estaciones consideradas.

Se insertó los datos obtenidos previamente, al programa estadístico para su procesamiento, determinación, cálculo y definición de correlación, según la teoría establecida; lo cual resultó en datos numéricos y gráficos que conllevan al respectivo análisis mediante la elección y admisión del estadístico de contrastación de hipótesis a usar; con el cual se determinan valores máximos y mínimos que nos definen criterios de interpretación y conclusión.

Para la interpretación básicamente se hizo una comparación entre los datos procesados en el programa, dichos resultados obtenidos en este estudio y otros, lográndose con esto, inferir el porqué de la similitud y las diferencias entre ambos resultados; dado que, se tendrá que evaluar y discernir los resultados más favorables y coherentes que se ajustan a la problemática actual.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se obtuvieron datos de tres estaciones, la estación de Huánuco, la estación Cerro de Pasco y la estación San Rafael. Pues éstas se encontraban más cercanas a la subcuenca en estudio. Al revisar los datos se encontró que la estación Cerro de Pasco, contaba con algunos años en los cuales no se tuvo medición en ninguno de los 12 meses. Además de que esta inexistencia de datos se daba durante años seguidos. Ante esta situación presentada por criterio propio y después de una evaluación se determinó considerar por conveniente tomar como estación base a la estación Huánuco para todo el desarrollo del procesamiento. Para la selección de la cantidad de años a analizar se optó por el periodo de 30 años, desde el año 1987 hasta el 2016, la razón principal es porque años anteriores al 1987 no se contaba con registros, así pues, creaba discontinuidad entre los datos y no se lograría la representación de las precipitaciones que se busca.

4.1.1. PARA LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN

Completación de Datos Faltantes

Teniendo como base la estación Huánuco se procedió a la completación de datos faltantes, si bien existe un gran número de métodos para realizar este procedimiento, el método utilizado para este proceso es la de razón promedio, debido que en otros métodos se requería el uso de mayor número de estaciones, y en algunos casos no cumplían con los requisitos para ser utilizada, como se dio con el método de regresión.

Tabla Nº 3 Completación de datos faltantes

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1987	8.3	98.8	173	100	22.6	6	11.4	3.8	11	10.7	6.8	30
1988	42.7	35.4	16	14.5	1.6	0	0	2.4	16.2	3.98	12.3	18.0
1989	26.5	14.1	21.0	11.8	8.3	5.8	0	2.2	12.5	22.8	12.8	42.6
1990	16.6	13	18	90	0	0	4.1	0	1.5	10.7	6.8	5
1991	14	12	13	15.0	2.6	8.6	13.1	0	4.8	12.6	17.3	31.7
1992	14.4	52.2	27.54	9.8	0	6.2	0	39.2	4.4	6.4	8	7
1993	8	10	12.2	7	2	1	3.5	4.2	13.1	8.4	18.9	40
1994	68.3	119.7	136.5	73.3	4.5	0	35.5	0	38.4	18.2	70	61.6
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	23.8
2005	9.9	32	25.9	15.5	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	7.1	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	10.1	22.1	9.1	24.6	27	41.1
2014	18.5	16.9	25.7	10.4	8.9	2.7	0	3.4	33	3.5	9.2	11.2
2015	13.4	9.7	16.4	12.1	13.6	0.1	6.9	3.2	4.9	10.9	13.6	15.6
2016	18.92	22.91	12.5	21.3	9.1	1	1.9	1.2	4.7	14.3	10.7	28.2

Fuente: propia

Una vez completa la información se procedió al cálculo de la precipitación máxima en 24 horas. Lo obtenido se muestra en la *Tabla* Nº 4

Tabla N° 4 Precipitaciones máximas estación San Rafael

Estacion San Rafael		
Nº	Año	Precip.Max
1	1987	173
2	1988	42.7
3	1989	42.6
4	1990	90
5	1991	31.7
6	1992	52.2
7	1993	40
8	1994	136.5
9	1995	36.8
10	1996	22.8
11	1997	56.7
12	1998	29.4
13	1999	21.6
14	2000	25.1
15	2001	41.8
16	2002	29.9
17	2003	52.9
18	2004	29.6
19	2005	32
20	2006	28.8
21	2007	31.9
22	2008	42.1
23	2009	25.5
24	2010	25.1
25	2011	21.8
26	2012	33.5
27	2013	41.1
28	2014	33
29	2015	16.4
30	2016	28.2

Fuente: propia

Se apreció valores excesivamente grandes para la precipitación máxima en los años 1987,1990 y 1994, que se infieren que hubo un error en el cálculo de la precipitación. Para la evaluación de la coherencia que tienen estos datos con la que presenta la estación Huánuco en esta serie de tiempo. Se realizó el análisis de consistencia de los datos.

Análisis de Consistencia

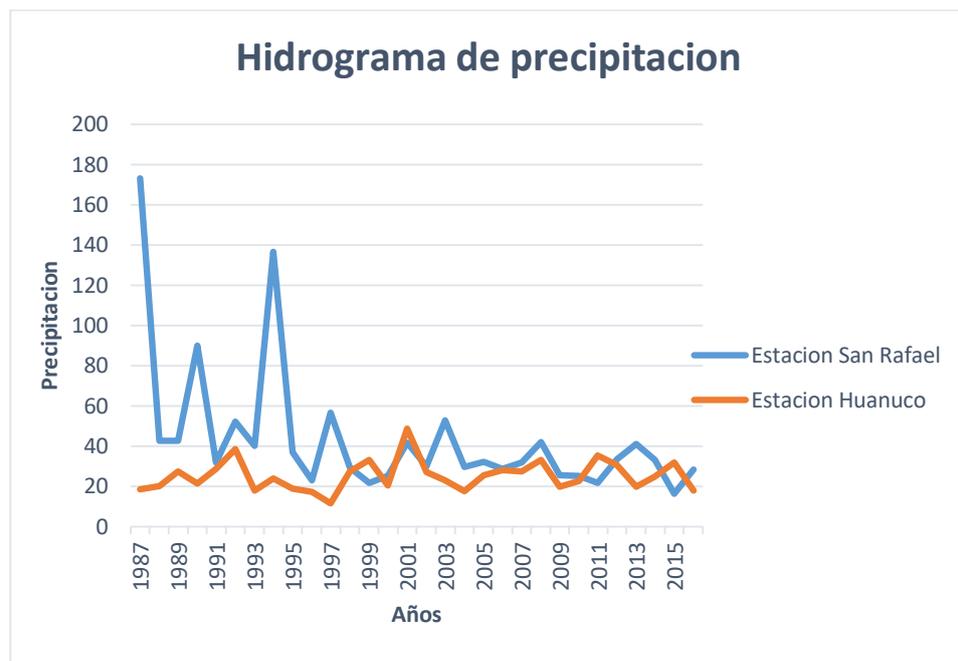
Análisis visual gráfico

Éste es un primer procedimiento, que como su mismo nombre lo menciona se da de manera visual y nos permite detectar e identificar periodos donde datos pluviográficos pueden resultar dudosos que se refleja en los picos altísimos o por lo contrario valores bajísimos.

En la *Figura 17* se muestran los hidrogramas de la precipitación máxima de la estación San Rafael así como también el de la estación Huánuco.

De estas 2 estaciones se puede decir que en la estación San Rafael existen datos dudosos significativos.

Figura 17. Hidrograma de precipitación de la estación San Rafael y la estación Huánuco



Fuente: propia

Análisis de Doble Masa

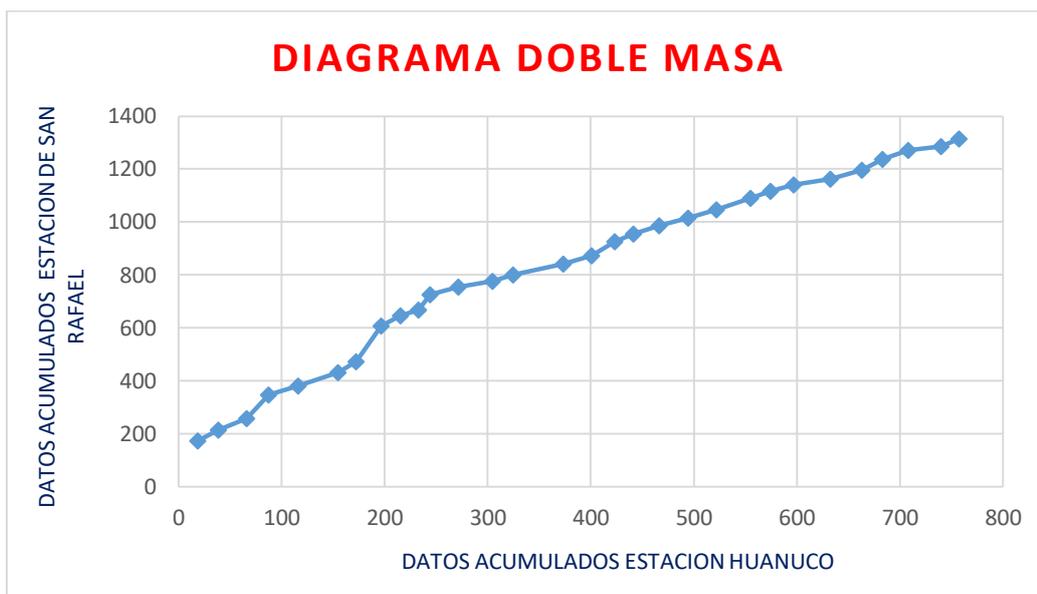
Con este método se analiza la consistencia de la serie de valores de algún dato de precipitación medido en la estación San Rafael, con fundamento en los datos tomados en la estación Huánuco. Este sistema de homogenización de series, se utiliza cuando puede darse alguna variación en la variable medida o registrada en una estación meteorológica.

Tabla Nº 5 Datos para la curva de doble masa

Año	Est.Huánuco	Est.San rafael	Acum.Est Huánuco	Acum.Est San Rafael
1987	18.6	173	18.6	173
1988	20.1	42.7	38.7	216
1989	27.4	42.6	66.1	258
1990	21.3	90	87.4	348
1991	28.8	31.7	116.2	380
1992	38.4	52.2	154.6	432
1993	18	40	172.6	472
1994	24	136.5	196.6	609
1995	18.9	36.8	215.5	645
1996	17.1	22.8	232.6	668
1997	11.4	56.7	244	725
1998	27.5	29.4	271.5	754
1999	33	21.6	304.5	776
2000	20.3	25.1	324.8	801
2001	48.7	41.8	373.5	843
2002	27.2	29.9	400.7	873
2003	23	52.9	423.7	926
2004	17.6	29.6	441.3	955
2005	25.5	32	466.8	987
2006	28	28.8	494.8	1016
2007	27.3	31.9	522.1	1048
2008	33.1	42.1	555.2	1090
2009	19.6	25.5	574.8	1116
2010	22.6	25.1	597.4	1141
2011	35.4	21.8	632.8	1162
2012	30.7	33.5	663.5	1196
2013	19.9	41.1	683.4	1237
2014	24.8	33	708.2	1270
2015	31.7	16.4	739.9	1286
2016	18	28.2	757.9	1315

Fuente: propia

Figura 18. Diagrama de Doble Masa



Fuente: propia

De la curva de doble masa podemos observar que presentan 5 quiebres, que son sobresalientes, éstos indican que ha habido errores sistemáticos.

Análisis de saltos

Del análisis de doble masa los quiebres mostrados nos permiten determinar los rangos de los periodos dudosos y confiables. Por lo que nuestro análisis se hará para cinco tramos que se presentan a continuación.

Tabla Nº 6 Datos de los tramos del 1 al 5

Tramo 1	
Año	Pmax (mm)
1987	173
1988	42.7
1989	41.6

Tramo 2	
Año	Pmax (mm)
1990	90
1991	31.7
1992	52.2
1993	40

Tramo 3	
Año	Pmax (mm)
1994	136.5
1995	36.8
1996	22.8

Tramo 4	
Año	Pmax (mm)
1997	56.7
1998	29.4
1999	21.6
2000	25.1
2001	41.8
2002	29.9

Tramo 5	
Año	Pmax (mm)
2003	52.9
2004	29.6
2005	32
2006	28.8
2007	31.9
2008	42.1
2009	25.5
2010	25.1
2011	21.8
2012	33.5
2013	41.1
2014	33
2015	16.4
2016	28.2

Fuente: propia

Primero, se hizo el análisis para los tramos 1 y 2

Tabla Nº 7 Análisis de consistencia de los tramos 1 y 2

Parámetros	Tramo 1	Tramo 2
Media	85.754	53.467
Desviación estándar	75.559	25.76276
Cantidad	3	4
Varianza	5709.153	663.7198

Fuente: propia

tc=	0.816302695
-----	-------------

Calculo del t tabular

G.L=n1+n2-2	5
$\alpha/2 =$	0.025

tt=	2.57
-----	------

tc < tt
No se debe corregir

Fc=	8.60
-----	------

Calculo del F tabular

G.L.N	2
G.L.D	3

Ft=	19.16
-----	-------

Fc < Ft
No se debe corregir

Una vez analizado estos dos tramos el análisis indicó que no se debe corregir, por lo cual se continúa con el análisis para los siguientes tramos. Se consideró estos dos primeros tramos analizados y como uno solo, este procedimiento se hizo sucesivamente hasta el final.

Tabla Nº 8 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2 y 3

Parámetros	Tramo 1 y 2	Tramo 3
Media	67.305	65.367
Desviación estándar	50.327	61.9997043
Cantidad	7	3
Varianza	2532.758	3843.963

Fuente: propia

tc=	0.052510175
-----	-------------

Calculo del t tabular

G.L=n1+n2-2	8
$\alpha/2 =$	0.025

tt=	2.306
-----	-------

tc < tt
No se debe corregir

Fc=	1.52
-----	------

Calculo del F tabular

G.L.N	2
G.L.D	6

Ft=	19.33
-----	-------

Fc < Ft
No se debe corregir

Tabla Nº 9 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2, 3 y 4

Parámetros	Tramo 1,2 y 3	Tramo 4
Media	66.55200293	34.08333333
Desviación estándar	50.525	13.0155932
Cantidad	10	6
Varianza	2552.740107	169.405667

Fuente: propia

tc=	1.524255839
-----	-------------

Calculo del t tabular

G.L=n1+n2-2	14
$\alpha/2 =$	0.025

tt=	2.1448
-----	--------

tc < tt
No se debe corregir

Fc=	15.07
-----	-------

Calculo del F tabular

G.L.N	9
G.L.D	5

Ft=	3.48
-----	------

Fc > Ft
Se debe corregir

Para el análisis de los siguientes tramos aparece que no existe consistencia en la desviación estándar para lo cual es necesario hacer una corrección de datos. Si bien este proceso se debe realizar a todos los datos dentro del periodo, no se adoptó de esta forma, debido a que si se haría de esta manera, se estaría alterando a las mediciones obtenidas en las estaciones, y no se estaría considerando las precipitaciones reales que presenta la subcuenca Blanco. Para lo cual solo se corrigió los datos que por su valor excesivo lo ameritan.

Tabla N° 10 Datos corregidos de los años 1987,1990 y 1994

Corrección	
$X'_{(1987)} =$	61.5
$X'_{(1990)} =$	40.1
$X'_{(1994)} =$	52.1

Fuente: propia

Tabla N° 11 Datos corregidos de los tramos 1, 2, 3 y 4

Tramo 1, 2, 3 y 4	
Año	P(mm)
1987	61.5
1988	42.7
1989	41.6
1990	40.1
1991	30.9
1992	51.2
1993	40
1994	52.1
1995	36.8
1996	22.8
1997	56.7
1998	29.4
1999	21.6
2000	25.1
2001	41.8
2002	29.9

Fuente: propia

Con los datos corregidos, se sigue con el procedimiento anterior, es decir tomando en conjunto los tramos 1, 2, 3, 4 y hacer el análisis con el tramo 5. Lo obtenido se muestra en la *Tabla N° 12*

Tabla N° 12 Análisis de Consistencia de los tramos 1, 2, 3, 4 y 5

Parámetros	Tramo 1,2,3 y 4	Tramo 5
Media	39.0	31.56429
Desviación estándar	12.038	9.15647
Cantidad	16	14.00000
Varianza	144.9117726	83.84093

Fuente: propia

tc=	1.885465123	Fc=	1.73		
Calculo del t tabular		Calculo del F tabular			
G.L=n1+n2-2	28	G.L.N	15		
$\alpha/2 =$	0.025	G.L.D	13		
tt=	2.0484	Ft=	2.448		
tc	<	tt	Fc	<	Ft
No se debe corregir			No se debe corregir		

Así finalizamos el análisis de saltos y obtenemos valores corregidos, con los datos conseguidos se realizó los procedimientos siguientes.

Prueba de prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov

Para la realización de esta prueba se utilizó el software Hidroesta, pues este representa una gran ayuda para los cálculos laboriosos que requiere la prueba. Se evaluó con todas las distribuciones de probabilidad que contiene dicho Software, se muestran en las tablas siguientes las distribuciones que se ajustan a la serie de datos que se posee.

Distribución Normal

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0446	0.0459	0.0136
2	21.6	0.0645	0.1080	0.1098	0.0452
3	21.8	0.0968	0.1113	0.1131	0.0163
4	22.8	0.1290	0.1291	0.1309	0.0019
5	25.1	0.1613	0.1770	0.1789	0.0176
6	25.1	0.1935	0.1770	0.1789	0.0146
7	25.5	0.2258	0.1864	0.1883	0.0375
8	28.2	0.2581	0.2574	0.2590	0.0010
9	28.8	0.2903	0.2749	0.2764	0.0139
10	29.4	0.3226	0.2929	0.2944	0.0282
11	29.6	0.3548	0.2991	0.3005	0.0544
12	29.9	0.3871	0.3084	0.3097	0.0774
13	30.9	0.4194	0.3403	0.3415	0.0779
14	31.9	0.4516	0.3734	0.3743	0.0773
15	32.0	0.4839	0.3768	0.3777	0.1062
16	33.0	0.5161	0.4109	0.4116	0.1046
17	33.5	0.5484	0.4282	0.4288	0.1196
18	36.8	0.5806	0.5447	0.5443	0.0363
19	40.0	0.6129	0.6541	0.6529	0.0400
20	40.1	0.6452	0.6573	0.6562	0.0110
21	41.1	0.6774	0.6893	0.6880	0.0106
22	41.6	0.7097	0.7048	0.7034	0.0063
23	41.8	0.7419	0.7109	0.7095	0.0325
24	42.1	0.7742	0.7200	0.7185	0.0557
25	42.7	0.8065	0.7376	0.7360	0.0704
26	51.2	0.8387	0.9178	0.9162	0.0775
27	52.1	0.8710	0.9293	0.9278	0.0568
28	52.9	0.9032	0.9384	0.9370	0.0337
29	56.7	0.9355	0.9699	0.9689	0.0334
30	61.5	0.9677	0.9894	0.9889	0.0212

Como el delta teórico 0.1196, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Distribución LogNormal 2 parámetros

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0113	0.0128	0.0195
2	21.6	0.0645	0.0787	0.0830	0.0185
3	21.8	0.0968	0.0831	0.0875	0.0093
4	22.8	0.1290	0.1068	0.1115	0.0175
5	25.1	0.1613	0.1733	0.1782	0.0169
6	25.1	0.1935	0.1733	0.1782	0.0154
7	25.5	0.2258	0.1863	0.1912	0.0346
8	28.2	0.2581	0.2826	0.2865	0.0285
9	28.8	0.2903	0.3054	0.3090	0.0187
10	29.4	0.3226	0.3285	0.3317	0.0091
11	29.6	0.3548	0.3362	0.3393	0.0155
12	29.9	0.3871	0.3478	0.3508	0.0363
13	30.9	0.4194	0.3868	0.3890	0.0303
14	31.9	0.4516	0.4256	0.4271	0.0245
15	32.0	0.4839	0.4295	0.4309	0.0530
16	33.0	0.5161	0.4677	0.4684	0.0477
17	33.5	0.5484	0.4866	0.4868	0.0615
18	36.8	0.5806	0.6032	0.6012	0.0205
19	40.0	0.6129	0.6998	0.6961	0.0832
20	40.1	0.6452	0.7026	0.6988	0.0537
21	41.1	0.6774	0.7288	0.7247	0.0473
22	41.6	0.7097	0.7413	0.7370	0.0273
23	41.8	0.7419	0.7461	0.7418	0.0001
24	42.1	0.7742	0.7533	0.7489	0.0253
25	42.7	0.8065	0.7671	0.7625	0.0439
26	51.2	0.8387	0.9032	0.8986	0.0599
27	52.1	0.8710	0.9123	0.9078	0.0369
28	52.9	0.9032	0.9197	0.9153	0.0121
29	56.7	0.9355	0.9475	0.9439	0.0084
30	61.5	0.9677	0.9697	0.9670	0.0007

Como el delta teórico 0.0832, es menor que el delta tabular 0.2483.

Los datos se ajustan a la distribución LogNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Distribución LogNormal 3 parámetros

m	X	P(X)	Z	F(Z)	Delta
1	16.4	0.0323	-2.2432	0.0124	0.0198
2	21.6	0.0645	-1.4235	0.0773	0.0128
3	21.8	0.0968	-1.3954	0.0814	0.0153
4	22.8	0.1290	-1.2584	0.1041	0.0249
5	25.1	0.1613	-0.9618	0.1681	0.0068
6	25.1	0.1935	-0.9618	0.1681	0.0255
7	25.5	0.2258	-0.9127	0.1807	0.0451
8	28.2	0.2581	-0.5976	0.2750	0.0170
9	28.8	0.2903	-0.5312	0.2976	0.0073
10	29.4	0.3226	-0.4661	0.3206	0.0020
11	29.6	0.3548	-0.4446	0.3283	0.0265
12	29.9	0.3871	-0.4127	0.3399	0.0472
13	30.9	0.4194	-0.3082	0.3790	0.0404
14	31.9	0.4516	-0.2067	0.4181	0.0335
15	32.0	0.4839	-0.1967	0.4220	0.0618
16	33.0	0.5161	-0.0983	0.4609	0.0553
17	33.5	0.5484	-0.0501	0.4800	0.0683
18	36.8	0.5806	0.2527	0.5998	0.0191
19	40.0	0.6129	0.5236	0.6997	0.0868
20	40.1	0.6452	0.5318	0.7026	0.0574
21	41.1	0.6774	0.6122	0.7298	0.0524
22	41.6	0.7097	0.6517	0.7427	0.0330
23	41.8	0.7419	0.6674	0.7478	0.0058
24	42.1	0.7742	0.6908	0.7552	0.0190
25	42.7	0.8065	0.7372	0.7695	0.0369
26	51.2	0.8387	1.3364	0.9093	0.0706
27	52.1	0.8710	1.3944	0.9184	0.0474
28	52.9	0.9032	1.4451	0.9258	0.0226
29	56.7	0.9355	1.6766	0.9532	0.0177
30	61.5	0.9677	1.9490	0.9744	0.0066

Como el delta teórico 0.0868, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución LogNormal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Distribución Gamma 2 parámetros

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0173	0.0879	0.0557
2	21.6	0.0645	0.0832	0.1954	0.1309
3	21.8	0.0968	0.0871	0.2002	0.1034
4	22.8	0.1290	0.1087	0.2248	0.0958
5	25.1	0.1613	0.1685	0.2843	0.1230
6	25.1	0.1935	0.1685	0.2843	0.0907
7	25.5	0.2258	0.1803	0.2949	0.0691
8	28.2	0.2581	0.2686	0.3679	0.1099
9	28.8	0.2903	0.2899	0.3842	0.0939
10	29.4	0.3226	0.3116	0.4005	0.0780
11	29.6	0.3548	0.3189	0.4060	0.0511
12	29.9	0.3871	0.3300	0.4141	0.0270
13	30.9	0.4194	0.3674	0.4410	0.0217
14	31.9	0.4516	0.4052	0.4676	0.0160
15	32.0	0.4839	0.4090	0.4703	0.0136
16	33.0	0.5161	0.4469	0.4964	0.0197
17	33.5	0.5484	0.4657	0.5093	0.0391
18	36.8	0.5806	0.5858	0.5905	0.0098
19	40.0	0.6129	0.6891	0.6615	0.0486
20	40.1	0.6452	0.6921	0.6636	0.0185
21	41.1	0.6774	0.7208	0.6840	0.0066
22	41.6	0.7097	0.7344	0.6939	0.0158
23	41.8	0.7419	0.7398	0.6978	0.0442
24	42.1	0.7742	0.7476	0.7035	0.0707
25	42.7	0.8065	0.7629	0.7148	0.0916
26	51.2	0.8387	0.9132	0.8427	0.0039
27	52.1	0.8710	0.9229	0.8529	0.0181
28	52.9	0.9032	0.9307	0.8615	0.0417
29	56.7	0.9355	0.9592	0.8969	0.0386
30	61.5	0.9677	0.9801	0.9302	0.0376

Como el delta teórico 0.1309, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Distribución Gamma 3 parámetros

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0221	0.0130	0.0192
2	21.6	0.0645	0.0918	0.0878	0.0233
3	21.8	0.0968	0.0958	0.0924	0.0044
4	22.8	0.1290	0.1175	0.1169	0.0121
5	25.1	0.1613	0.1770	0.1837	0.0224
6	25.1	0.1935	0.1770	0.1837	0.0098
7	25.5	0.2258	0.1886	0.1966	0.0292
8	28.2	0.2581	0.2748	0.2902	0.0322
9	28.8	0.2903	0.2956	0.3122	0.0219
10	29.4	0.3226	0.3167	0.3344	0.0118
11	29.6	0.3548	0.3238	0.3418	0.0131
12	29.9	0.3871	0.3345	0.3529	0.0341
13	30.9	0.4194	0.3708	0.3903	0.0291
14	31.9	0.4516	0.4074	0.4275	0.0242
15	32.0	0.4839	0.4111	0.4312	0.0527
16	33.0	0.5161	0.4479	0.4679	0.0483
17	33.5	0.5484	0.4662	0.4860	0.0624
18	36.8	0.5806	0.5830	0.5989	0.0182
19	40.0	0.6129	0.6843	0.6939	0.0810
20	40.1	0.6452	0.6872	0.6966	0.0515
21	41.1	0.6774	0.7155	0.7228	0.0454
22	41.6	0.7097	0.7290	0.7353	0.0256
23	41.8	0.7419	0.7343	0.7401	0.0018
24	42.1	0.7742	0.7421	0.7473	0.0269
25	42.7	0.8065	0.7572	0.7613	0.0452
26	51.2	0.8387	0.9085	0.9014	0.0626
27	52.1	0.8710	0.9185	0.9109	0.0399
28	52.9	0.9032	0.9265	0.9186	0.0154
29	56.7	0.9355	0.9562	0.9479	0.0125
30	61.5	0.9677	0.9782	0.9712	0.0035

Como el delta teórico 0.08101, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Distribución Gumbel

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0070	0.0116	0.0206
2	21.6	0.0645	0.0642	0.0790	0.0145
3	21.8	0.0968	0.0683	0.0835	0.0133
4	22.8	0.1290	0.0912	0.1077	0.0214
5	25.1	0.1613	0.1584	0.1760	0.0147
6	25.1	0.1935	0.1584	0.1760	0.0176
7	25.5	0.2258	0.1719	0.1894	0.0364
8	28.2	0.2581	0.2740	0.2887	0.0307
9	28.8	0.2903	0.2984	0.3122	0.0219
10	29.4	0.3226	0.3233	0.3359	0.0133
11	29.6	0.3548	0.3316	0.3438	0.0110
12	29.9	0.3871	0.3441	0.3558	0.0313
13	30.9	0.4194	0.3860	0.3956	0.0238
14	31.9	0.4516	0.4276	0.4351	0.0166
15	32.0	0.4839	0.4318	0.4390	0.0449
16	33.0	0.5161	0.4726	0.4777	0.0385
17	33.5	0.5484	0.4926	0.4966	0.0518
18	36.8	0.5806	0.6149	0.6128	0.0322
19	40.0	0.6129	0.7134	0.7073	0.0944
20	40.1	0.6452	0.7161	0.7099	0.0648
21	41.1	0.6774	0.7423	0.7353	0.0579
22	41.6	0.7097	0.7547	0.7473	0.0376
23	41.8	0.7419	0.7595	0.7520	0.0101
24	42.1	0.7742	0.7665	0.7589	0.0153
25	42.7	0.8065	0.7801	0.7722	0.0343
26	51.2	0.8387	0.9100	0.9021	0.0634
27	52.1	0.8710	0.9184	0.9108	0.0398
28	52.9	0.9032	0.9252	0.9178	0.0146
29	56.7	0.9355	0.9508	0.9448	0.0093
30	61.5	0.9677	0.9712	0.9668	0.0010

Como el delta teórico 0.0944, es menor que el delta tabular 0.2483.

Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Distribución LogGumbel

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.4	0.0323	0.0000	0.0002	0.0321
2	21.6	0.0645	0.0320	0.0461	0.0185
3	21.8	0.0968	0.0363	0.0512	0.0456
4	22.8	0.1290	0.0629	0.0814	0.0476
5	25.1	0.1613	0.1529	0.1749	0.0136
6	25.1	0.1935	0.1529	0.1749	0.0186
7	25.5	0.2258	0.1717	0.1936	0.0323
8	28.2	0.2581	0.3091	0.3256	0.0676
9	28.8	0.2903	0.3401	0.3548	0.0645
10	29.4	0.3226	0.3707	0.3835	0.0610
11	29.6	0.3548	0.3807	0.3930	0.0381
12	29.9	0.3871	0.3956	0.4070	0.0199
13	30.9	0.4194	0.4440	0.4521	0.0328
14	31.9	0.4516	0.4896	0.4948	0.0432
15	32.0	0.4839	0.4940	0.4989	0.0150
16	33.0	0.5161	0.5364	0.5385	0.0224
17	33.5	0.5484	0.5564	0.5573	0.0089
18	36.8	0.5806	0.6694	0.6638	0.0832
19	40.0	0.6129	0.7507	0.7417	0.1288
20	40.1	0.6452	0.7529	0.7438	0.0986
21	41.1	0.6774	0.7733	0.7636	0.0862
22	41.6	0.7097	0.7829	0.7729	0.0632
23	41.8	0.7419	0.7865	0.7765	0.0345
24	42.1	0.7742	0.7919	0.7817	0.0075
25	42.7	0.8065	0.8022	0.7918	0.0146
26	51.2	0.8387	0.8995	0.8892	0.0505
27	52.1	0.8710	0.9060	0.8959	0.0249
28	52.9	0.9032	0.9113	0.9014	0.0018
29	56.7	0.9355	0.9322	0.9233	0.0122
30	61.5	0.9677	0.9507	0.9430	0.0247

Como el delta teórico 0.1288, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución LogGumbel, con un nivel de significación del 5%.

Como los deltas teóricos, son menores que el delta tabular 0.2483 los datos se ajustan a todas las distribuciones analizadas, con un nivel de significación del 5%.

Tabla Nº 13 Delta tabular y teórico de cada distribución de probabilidad

Distribución	Delta tabular	Delta teórico
Normal	0.2483	0.1196
LogNormal 2		0.0832
LogNormal 3		0.0868
Gamma 2		0.1309
Gamma3		0.08101
Gumbel		0.0944
LogGumbel		0.1288

Fuente: propia

Elegimos la Distribución Gamma 3, porque es la distribución que mejor se ajusta cuyo delta teórico es de 0.08101 y es el menor valor entre las demás distribuciones.

Determinación de las curvas I-D-T

Se calculan los parámetros necesarios de los datos, estos son necesarios para el cálculo de la precipitación máxima con diferentes periodos de retorno

Tabla Nº 14 Parámetros de la muestra de datos

Parámetros	Muestrales
Media:	35.5367
Varianza:	126.8438
Desviación estándar:	11.2625
Coefficiente de variación:	0.3169
Coefficiente de sesgo :	0.5918
Coefficiente de curtosis:	2.9792
Coefficiente de asimetría (k):	0.591839389
k/6	0.09864

Fuente: propia

Tabla Nº 15 Precipitaciones Máximas por medio de la distribución Gamma 3 parámetros

CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTÁNTANEOS ANUALES USANDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARAMETROS						
Nº	T (años)	P	w	z	Kt	P(mm.)
1	2	0.5	1.17741	0.000	-0.0977	34.437
2	5	0.2	1.79412	0.841	0.7986	44.531
3	10	0.1	2.14597	1.282	1.3265	50.477
4	20	0.05	2.44775	1.645	1.7945	55.747
5	25	0.04	2.53727	1.751	1.9364	57.346
6	50	0.02	2.79715	2.054	2.3570	62.083
7	100	0.01	3.03485	2.327	2.7537	66.551
8	200	0.005	3.25525	2.576	3.1324	70.816
9	500	0.002	3.52551	2.879	3.6118	76.215
10	1000	0.001	3.71692	3.091	3.9617	80.155

Fuente: propia

Obtenidos dichos valores serán multiplicados por los coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Tabla Nº 16 Coeficientes para las relaciones de lluvia

Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas	
Fuente: D. F. Campos A., 1978	
Duraciones (horas)	Coeficiente
24	1
18	0.91
12	0.8
8	0.68
6	0.61
5	0.57
4	0.52
3	0.46
2	0.39
1	0.3

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Tabla N° 17 Precipitaciones máximas para cada periodo de retorno

PRECIPITACIONES MAXIMAS (mm) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO										
Duración (h)	Periodo de Retorno									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
24	34.4366	44.5307	50.477	55.747	57.3456	62.083	66.551	70.816	76.21	80.155
18	31.3373	40.5229	45.934	50.73	52.1845	56.495	60.561	64.442	69.36	72.941
12	27.5493	35.6246	40.381	44.598	45.8765	49.666	53.241	56.653	60.97	64.124
8	23.4169	30.2809	34.324	37.908	38.995	42.216	45.254	48.155	51.83	54.506
6	21.0063	27.1637	30.791	34.006	34.9808	37.87	40.596	43.198	46.49	48.895
5	19.6289	25.3825	28.772	31.776	32.687	35.387	37.934	40.365	43.44	45.689
4	17.907	23.156	26.248	28.989	29.8197	32.283	34.606	36.824	39.63	41.681
3	15.8408	20.4841	23.219	25.644	26.379	28.558	30.613	32.575	35.06	36.872
2	13.4303	17.367	19.686	21.741	22.3648	24.212	25.955	27.618	29.72	31.261
1	10.331	13.3592	15.143	16.724	17.2037	18.625	19.965	21.245	22.86	24.047

Fuente: propia

Tabla N° 18 Intensidades máximas para cada periodo de retorno

INTENSIDADES MAXIMAS (mm/hora) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO										
Duración (h)	Periodo de Retorno									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
24	1.43486	1.85545	2.1032	2.3228	2.3894	2.5868	2.7729	2.9507	3.176	3.3398
18	1.74096	2.25127	2.5519	2.8183	2.89914	3.1386	3.3645	3.5801	3.853	4.0523
12	2.29577	2.96871	3.3651	3.7165	3.82304	4.1388	4.4367	4.721	5.081	5.3437
8	2.92711	3.78511	4.2905	4.7385	4.87438	5.277	5.6568	6.0193	6.478	6.8132
6	3.50106	4.52729	5.1318	5.6676	5.83014	6.3117	6.766	7.1996	7.748	8.1491
5	3.92577	5.0765	5.7544	6.3552	6.5374	7.0774	7.5868	8.073	8.688	9.1377
4	4.47676	5.78899	6.562	7.2472	7.45493	8.0708	8.6516	9.206	9.908	10.42
3	5.28028	6.82804	7.7398	8.5479	8.79299	9.5193	10.204	10.858	11.69	12.291
2	6.71514	8.68349	9.843	10.871	11.1824	12.106	12.977	13.809	14.86	15.63
1	10.331	13.3592	15.143	16.724	17.2037	18.625	19.965	21.245	22.86	24.047

Fuente: propia

Seguidamente de la obtención de las intensidades máximas, dichos datos fueron ingresados al software Hidroesta para que realice la determinación de la ecuación de ajuste de la curva I-D-T y luego se hizo el gráfico de las curvas.

Ecuación	R	R ²	Se
$I_{\max} = 136.8521 \cdot T^{(0.1255)} \cdot D^{(-0.6164)}$	0.9951	0.9902	0.4896

$$I = \frac{136.8521}{D} T^{0.1255}$$

Dónde:

I: intensidad de precipitación (mm/hr)

T: Periodo de Retorno (años)

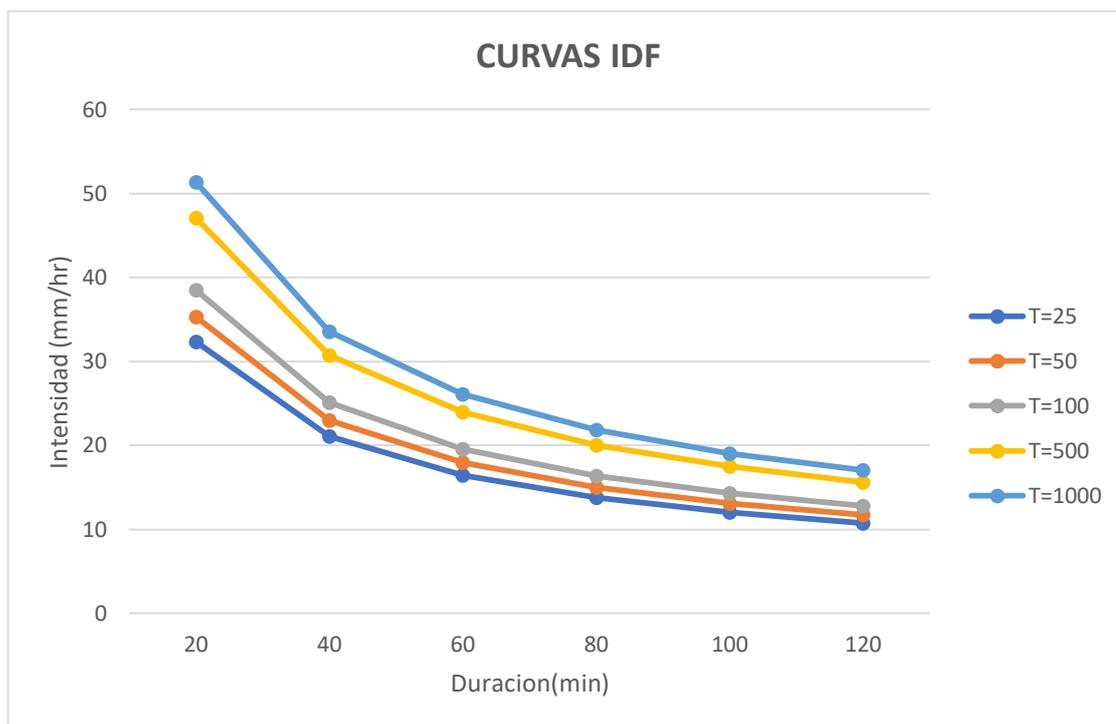
D: Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla N° 19 Intensidades para diferentes duraciones y periodos de retorno

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN EN MINUTOS					
	20	40	60	80	100	120
2	23.5546058	15.3645892	11.9668074	10.0222692	8.73435281	7.80590768
5	26.4251409	17.2370294	13.4251693	11.2436556	9.79878439	8.7571922
10	28.8268094	18.8036296	14.6453257	12.2655435	10.6893542	9.55309609
20	31.4467553	20.5126114	15.976377	13.3803065	11.660864	10.4213363
25	32.3398535	21.0951763	16.4301113	13.7603116	11.9920364	10.7173057
50	35.279085	23.012427	17.9233742	15.0109277	13.0819415	11.6913559
100	38.4854507	25.1039284	19.5523533	16.375207	14.2709034	12.7539334
200	41.9832293	27.3855175	21.3293833	17.8634798	15.567925	13.9130841
500	47.0996101	30.7229153	23.9287367	20.040453	17.4651452	15.6086334
1000	51.380293	33.5151901	26.1035176	21.8618444	19.0524779	17.0272356

Fuente: propia

Figura 19. Curva IDF



Fuente: Propia

4.1.2. PARA EL SIG ILWIS

Cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca

Para dicho cálculo se empleó el software ILWIS. Se hizo el uso de dos versiones del programa que son el ILWIS 3.3 y el ILWIS 3.7.2 debido a que:

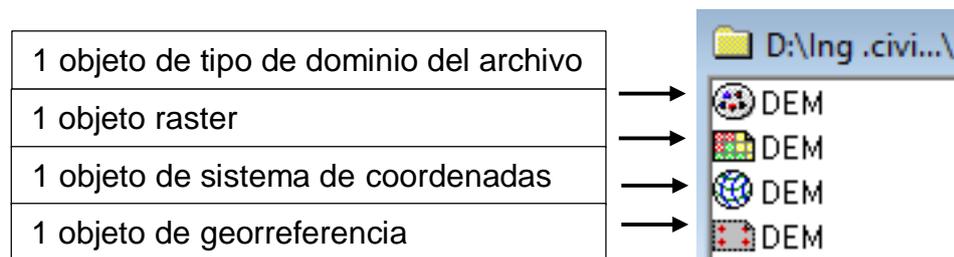
Inicialmente el programa ILWIS 3.3 Academic era de pago, después este paso a ser libre para que los usuarios pudieran contribuir al desarrollo.

Debido a este cambio muchos programas en los que se apoyaba el programa ILWIS 3.3 eran también de pago o trabajaban por convenio, por lo que estos no se encontraban disponibles para las posteriores versiones

Es así que algunos módulos se tuvieron que reescribir para esta nueva forma de distribución del programa, y algunos presentan "bugs" y fallas que no ocurrían en la versión de pago. (Harriague Lavayén, 2010)

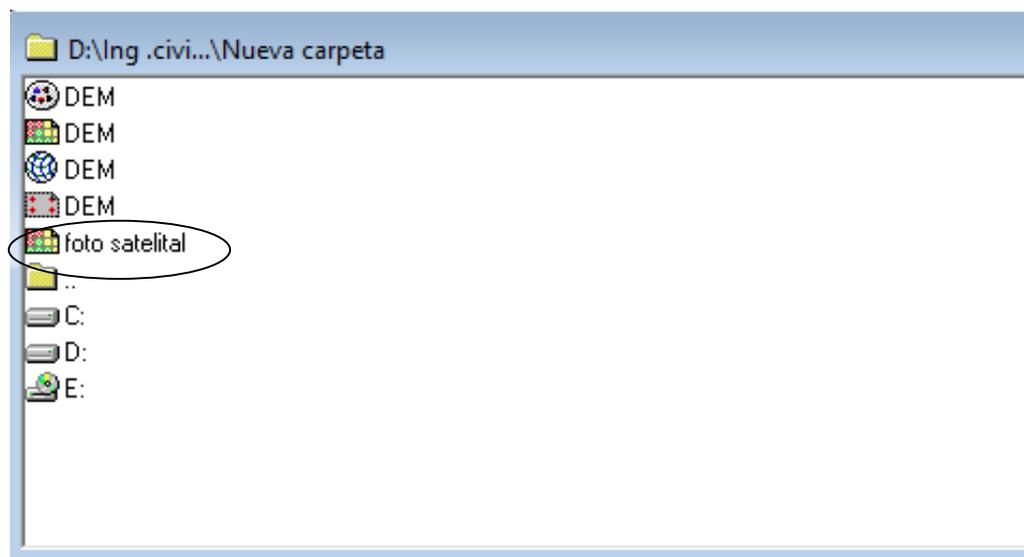
Tomando de base lo expuesto por dicho autor. Se optó por realizarlo con estas dos versiones que, mencionándolo en porcentaje, se hará un aproximado de 80% con el programa ILWIS 3.7.2 y todo lo restante con el programa ILWIS 3.3 Academic. Para poder así asegurar la confiabilidad de los resultados.

Para iniciar importamos el archivo DEM descargados del Earth Explorer. Al finalizar la importación se puede ver 4 objetos nuevos en nuestro directorio, estos son:



De la misma forma importamos la foto satelital obtenida del Google Earth, esta ha sido previamente convertida al formato tiff en el programa Xn View, el archivo importado se convertirá en forma raster. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. Catálogo del software ILWIS con el raster de la foto satelital

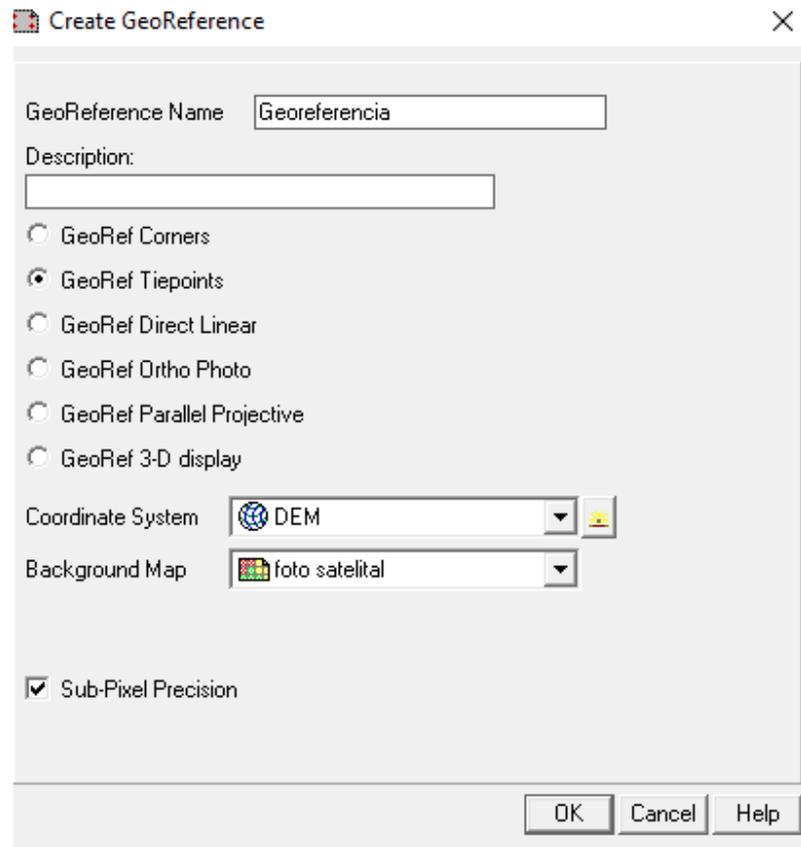


Fuente: propia

Lo que procede ahora es hacer la creación de una nueva georreferencia. Se hará por el tipo GeoRef Tiepoints aquí se puede

insertar puntos de conexión, también llamados puntos de control de suelo, que establecen relaciones entre los píxeles del mapa (fila, columna) y las coordenadas XY (ITC, 2018). Se requiere el sistema de coordenadas será el del DEM y el mapa la foto satelital.

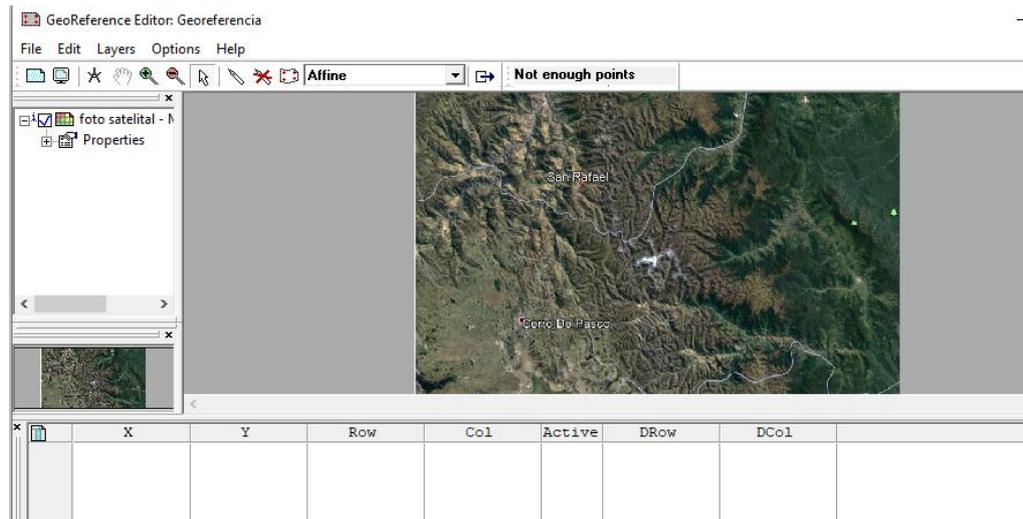
Figura 21. Ventana Create GeoReference



Fuente: propia

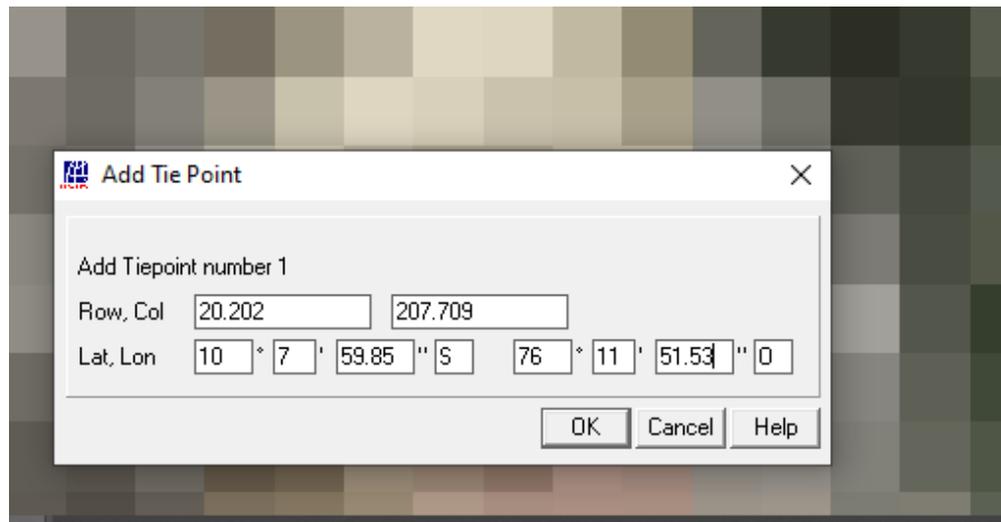
A continuación nos aparece una ventana donde es necesario introducir puntos hacer un Zoom , acercarse hasta tener una mejor precisión y después introducir los datos extraídos anticipadamente del Google Earth.

Figura 22. Ventana de GeoReference Editor



Fuente: propia

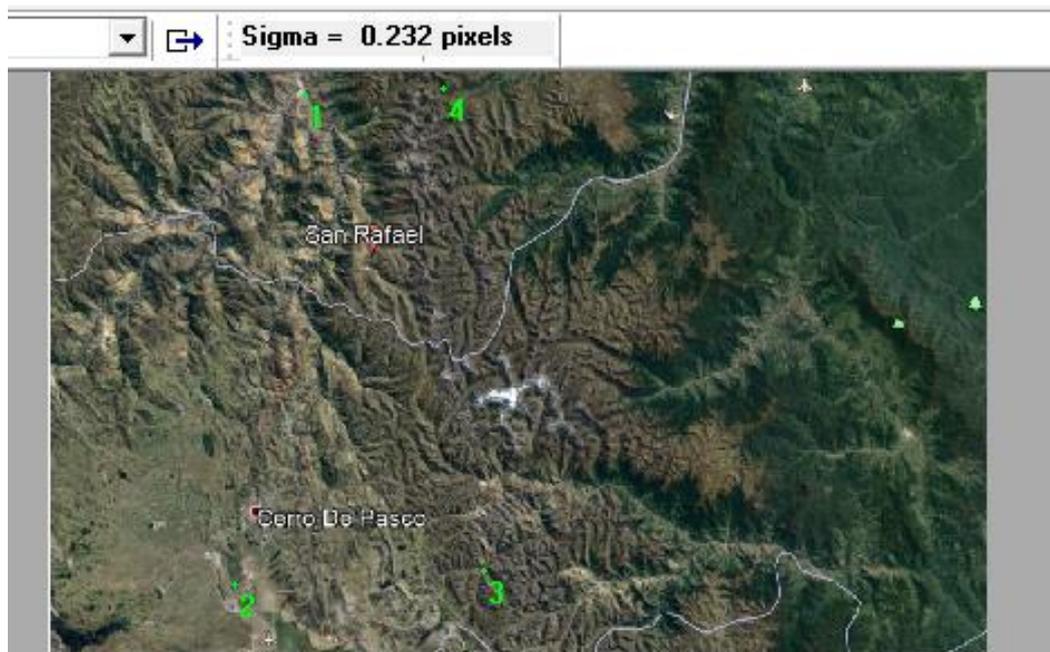
Figura 23. Ventana para colocar un punto



Fuente: propia

Entonces aparecerá un punto amarillo en el lugar seleccionado, este mismo procedimiento se realizara para 3 puntos más, haciendo un total de 4 puntos con estos se evalúa el sigma que es recomendable que sea menor que 0.5, para este caso el obtenido es de 0.232 por lo cual se puede salir del editor y continuar con el procedimiento.

Figura 24. Puntos para la georreferenciación

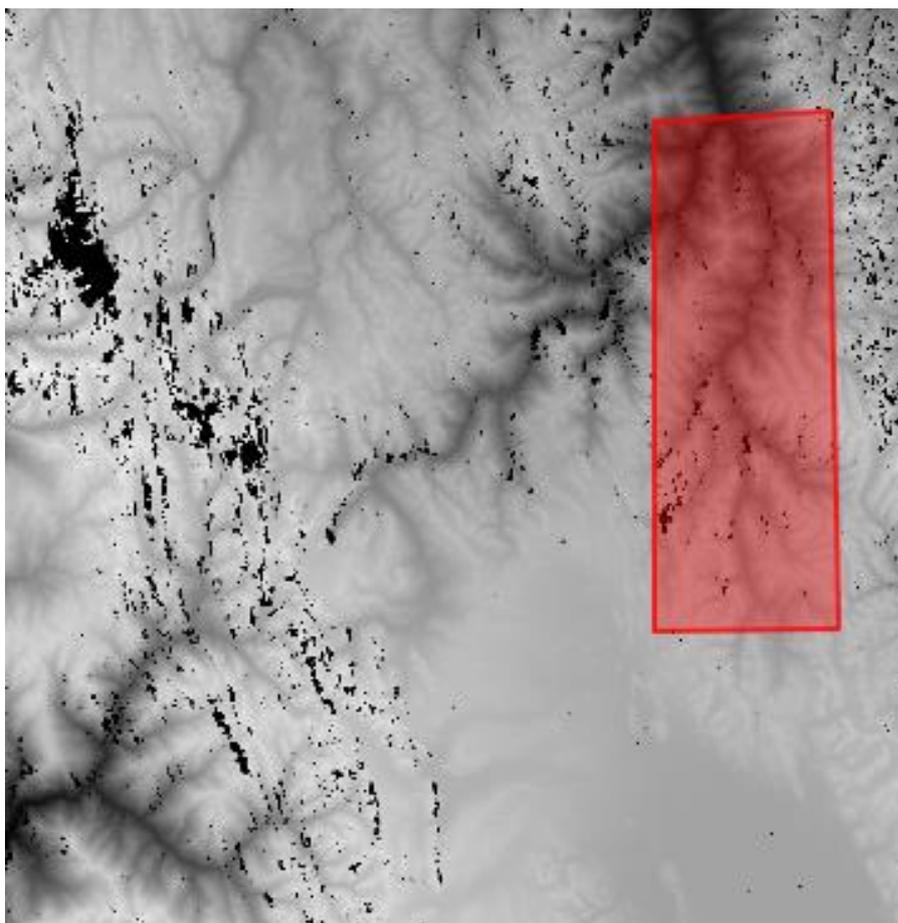


Fuente: propia

Luego de haber georreferenciado nuestra imagen satelital podremos usarla como fondo en muchas capas que hayamos creado en nuestro programa

Al momento de observar el objeto raster es notable que es demasiado grande en comparación con la zona en donde se encuentra la subcuenca.

Figura 25. DEM con la superficie rectangular que abarca la subcuena Blanco

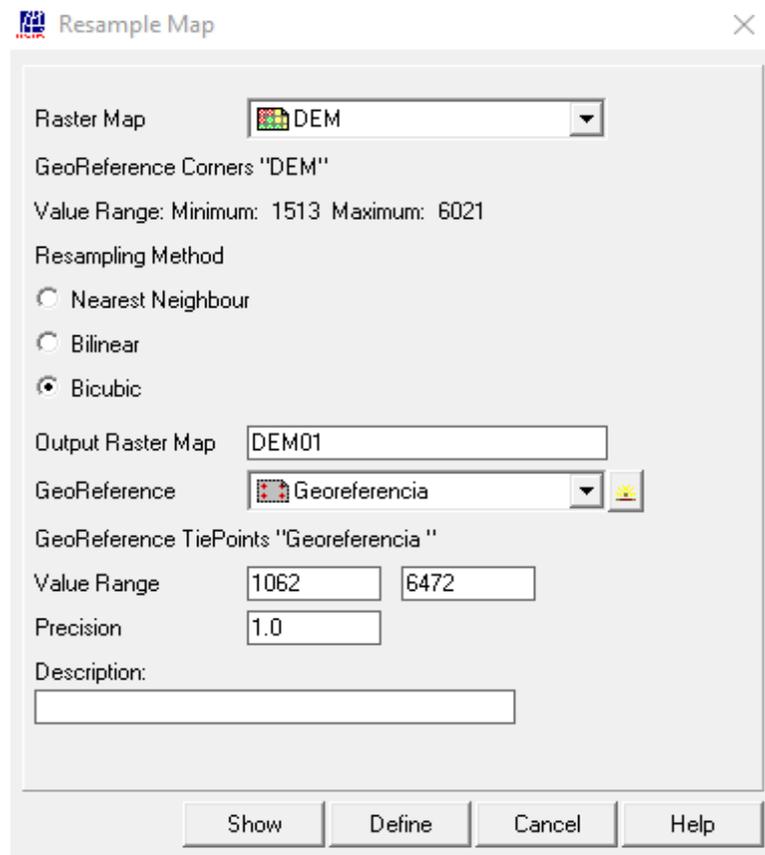


Fuente: propia

Entonces se concluye que para poder obtener solo un sector del archivo raster DEM debemos crear un Resample. La operación Resample muestrea un mapa raster de la georreferencia actual del mapa a otra georreferencia objetivo. La coordenada de cada píxel de salida se usa para calcular un nuevo valor a partir de valores de píxel cercanos en el mapa de entrada.

El método de remuestreo que se uso es el bicúbico, en este, primero se determina la coordenada de cada píxel en el mapa de salida; entonces los valores de 16 píxeles circundantes del mapa de entrada se usan para calcular un valor interpolado para cada píxel en el mapa de salida.

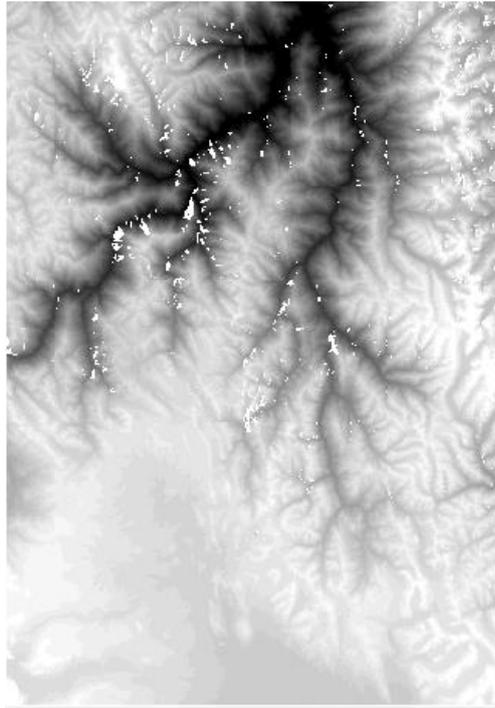
Figura 26. Ventana para la creación del Resample



Fuente: propia

Después se presenta una ventana con la zona del mapa; como vemos el área que abarca es menor.

Figura 27. Mapa raster DEM con Resample

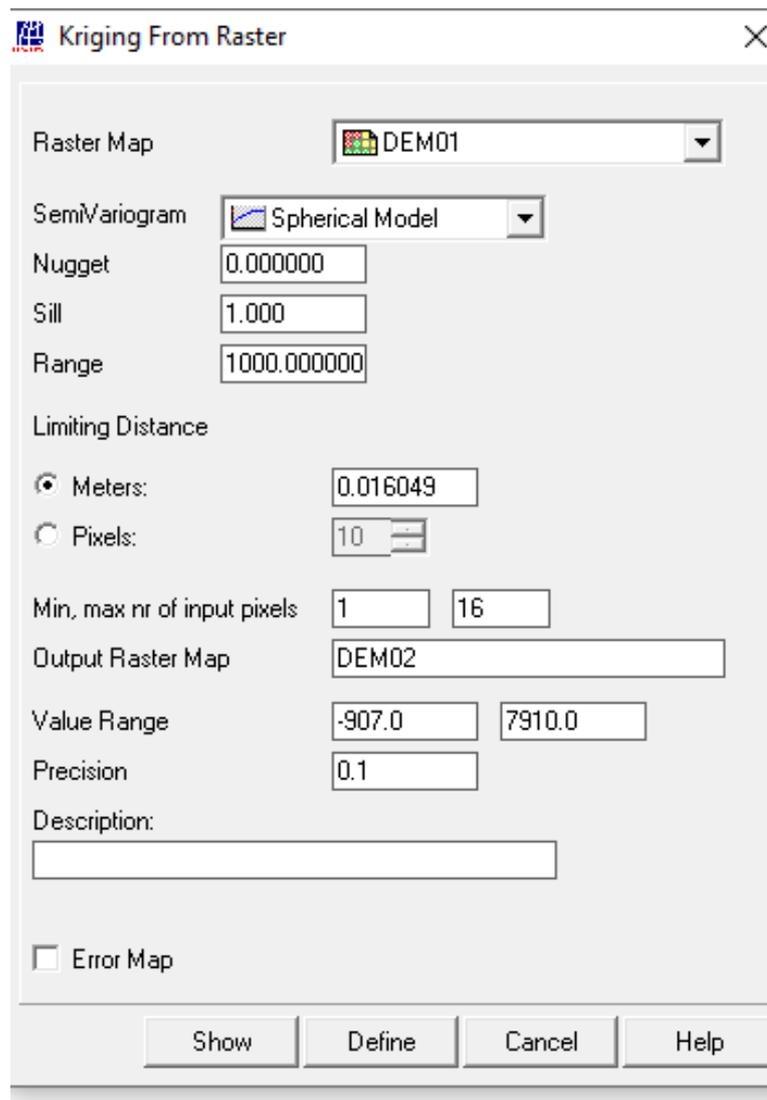


Fuente: propia

Como siguiente paso se interpola el archivo resample con el método Kriging from Raster. La operación puede verse como una interpolación raster y devuelve un mapa raster con estimaciones y opcionalmente, un mapa de errores.

La interpolación Kriging from Raster puede llenar los vacíos de un mapa raster, asimismo resulta una operación útil para lograr una red más densa de puntos de muestra. Es recomendable usarla cuando las muestras de puntos se miden en una cuadrícula regular, ya que es más rápido rasterizar el mapa de puntos y esta operación resulta más eficaz en comparación con cualquier otra operación de interpolación.

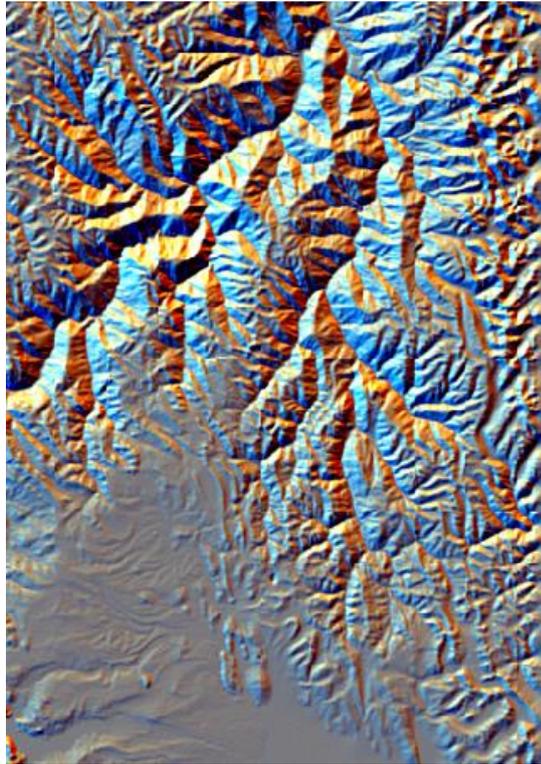
Figura 28. Ventana para interpolación Kriging from Raster



Fuente: propia

Luego se procede a la creación de un DEM de Visualization, desde aquí se da inicio al procesamiento orientados a la hidrología.

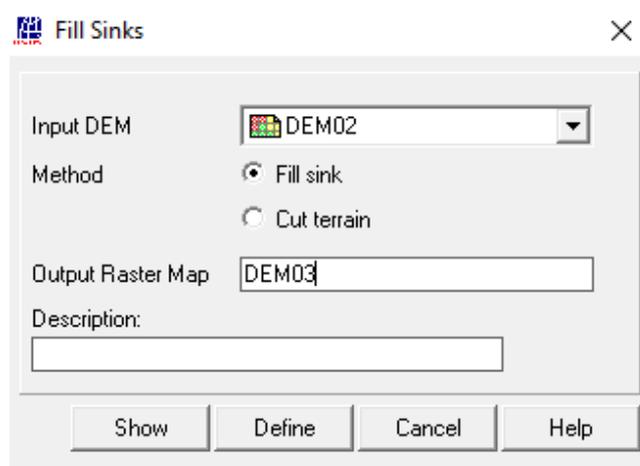
Figura 29. Mapa raster DEM Visualization



Fuente: propia

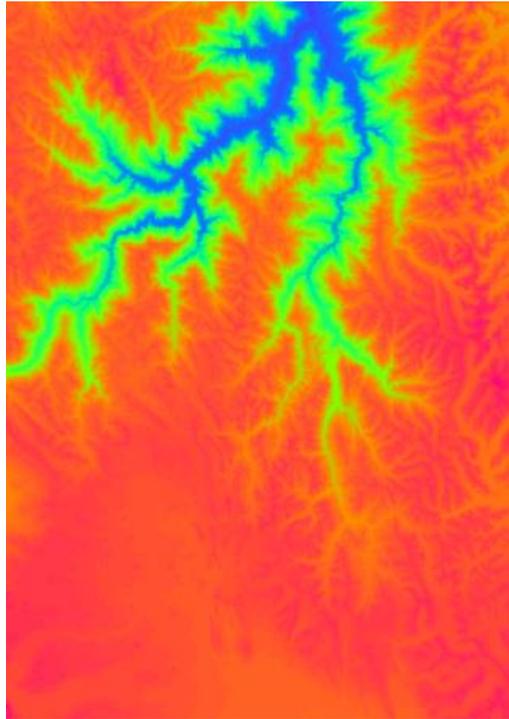
Ingresando a la opción DEM hydro-processing dentro de este nos dirigimos a Flow Determination y después a Remove local depressions from a DEM, Las operaciones de sumideros de relleno eliminan las depresiones locales de un modelo de elevación digital (ITC, 2018).

Figura 30. Ventana para la operación Fill Sinks



Fuente: propia

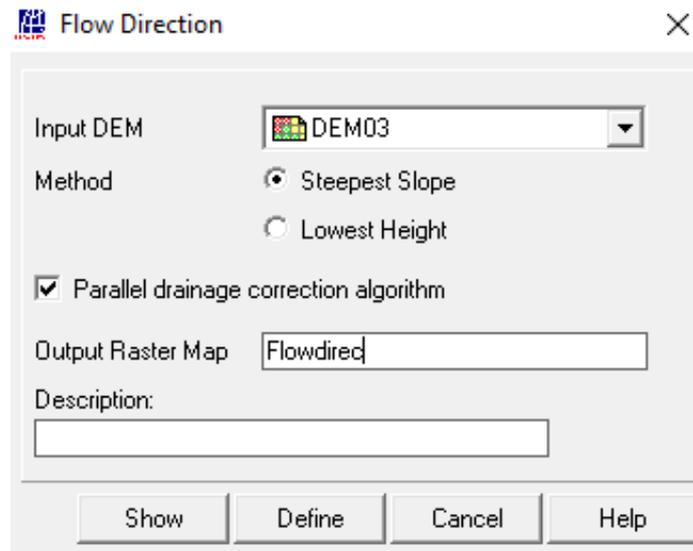
Figura 31. Mapa raster sin depresiones



Fuente: propia

Con lo obtenido lo que sigue es crear un objeto raster donde se indican las direcciones de flujo. Configuramos la ventana que se nos aparece (*Figura 32*). Es importante hacer notar que se recomienda activar la etiqueta "Parallel drainage correction algorithm" porque es un algoritmo desarrollado por ILWIS para evitar posibles tramos de flujo paralelos, en esto se diferencia del programa "WMS", que ofrece como resultados "ríos rectos" (Harriague Lavayén, 2010).

Figura 32. Ventana para la operación Flow Direction



Fuente: propia

La operación de dirección de flujo determina en qué píxel vecino fluirá cualquier agua en un píxel central. (ITC, 2018)

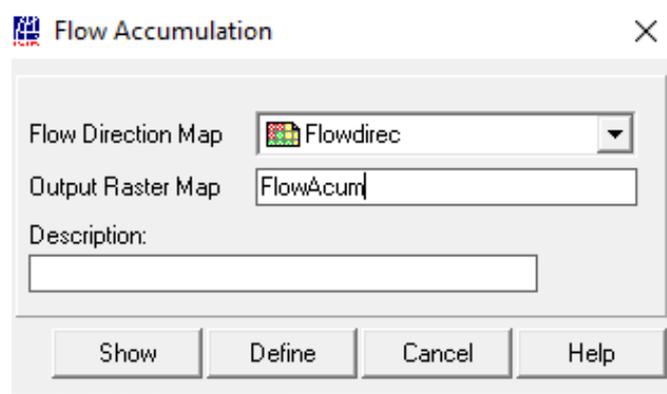
Figura 33. Mapa raster de dirección de flujo



Fuente: propia

Ahora creamos un mapa raster de acumulación de flujo, este creará acumulaciones a partir del mapa de dirección de flujo creado anteriormente.

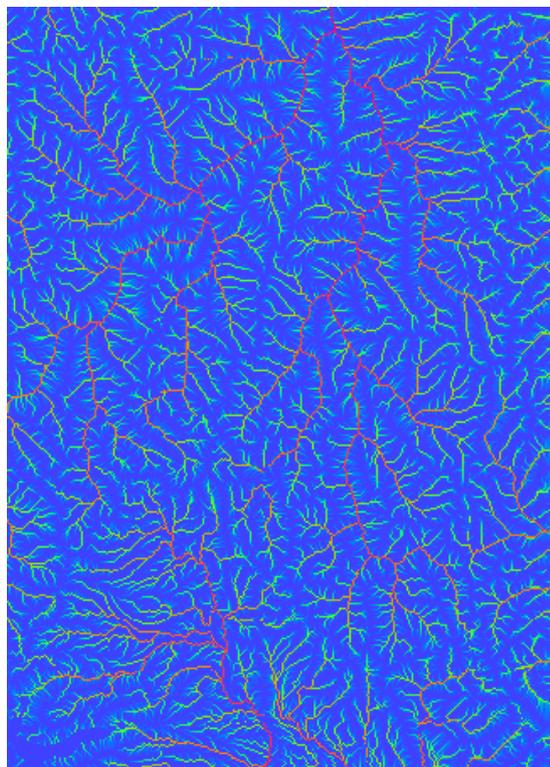
Figura 34. Ventana de la operación Flow Accumulation



Fuente: propia

La operación de acumulación de flujo determina el número de píxeles que drenan naturalmente en los píxeles de salida; La operación se puede utilizar para encontrar el patrón de drenaje de un terreno. (ITC, 2018).

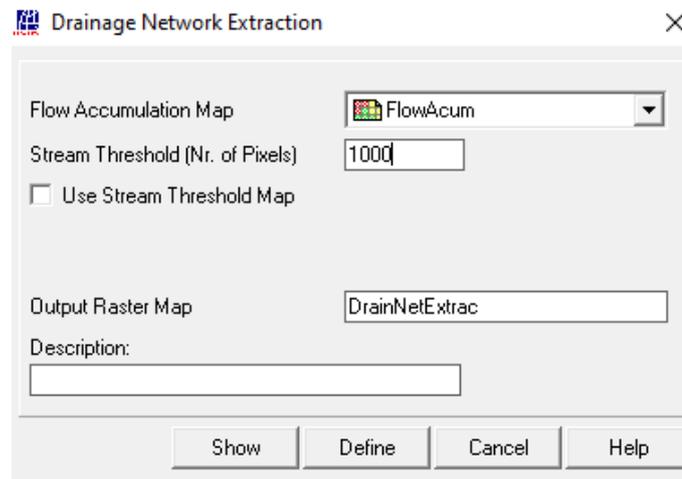
Figura 35. Mapa raster de acumulación de flujo



Fuente: propia

Lo siguiente es extraer los ríos que formarán parte de nuestra cuenca para lo cual usamos la operación Drainage Network Extraction, requiriendo para la entrada el mapa raster de salida de la acumulación de flujo.

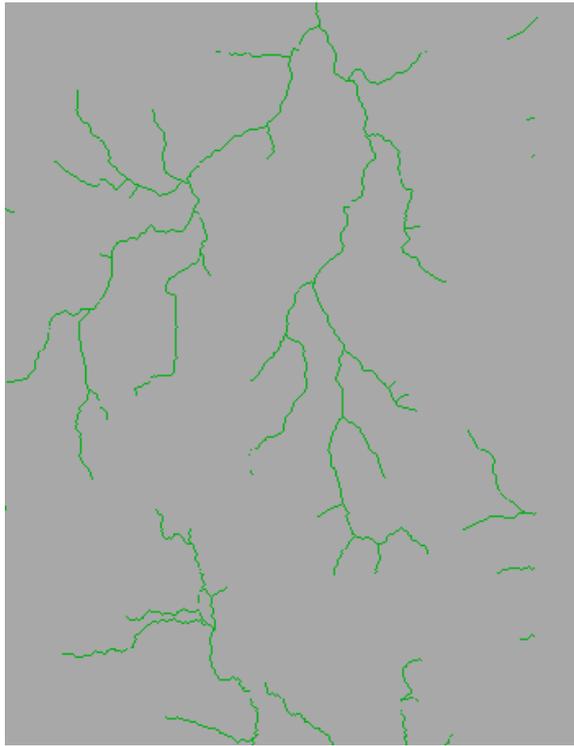
Figura 36. Ventana de la operación Drainage Network Extraction



Fuente: propia

La operación de extracción de la red de drenaje extrae una red de drenaje básica. El mapa raster de salida mostrará el drenaje básico como píxeles con valor verdadero y son los de color verde, mientras que otros píxeles tienen valor Falso que son de color gris.

Figura 37. Mapa raster de salida de la operación *Drainage Network Extraction*



Fuente: propia

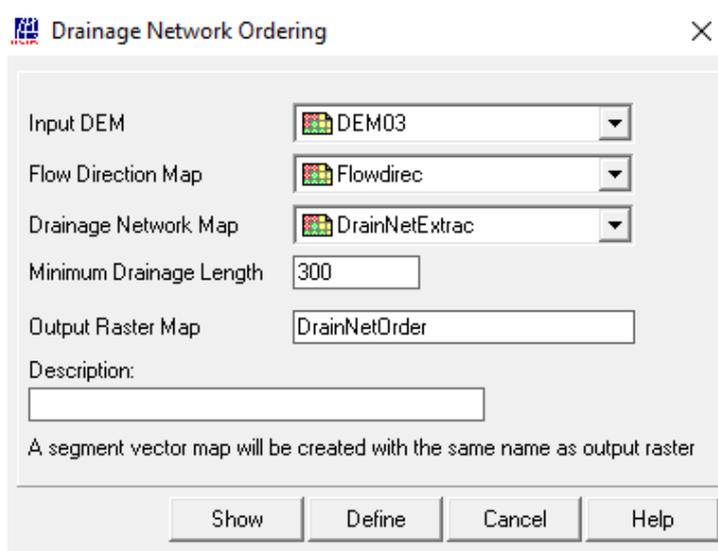
A continuación nos toca crear el orden de la red de drenaje lo que hace principalmente son:

- ✓ examina todas las líneas de drenaje en el mapa de la red de drenaje, es decir, un mapa de salida de la operación de extracción de la red de drenaje ,
- ✓ encuentra los nodos donde se encuentran dos o más corrientes
- ✓ asigna una ID única a cada flujo entre estos nodos así como también a flujo que solo tienen un nodo. (Hengl, 2008)

Se puede especificar la longitud mínima de drenaje con el fin de reducir el tiempo de operación, así pues el programa lo que hace es tomar los valores mayores al valor especificado y se mantendrán en la red de drenaje de salida. Este valor va depender del criterio del proyectista y va variar en función a lo que quiera lograr. Para nuestro caso se tomar una longitud de 300 metros.

Configuramos de la misma manera como se muestra en la *Figura 38*

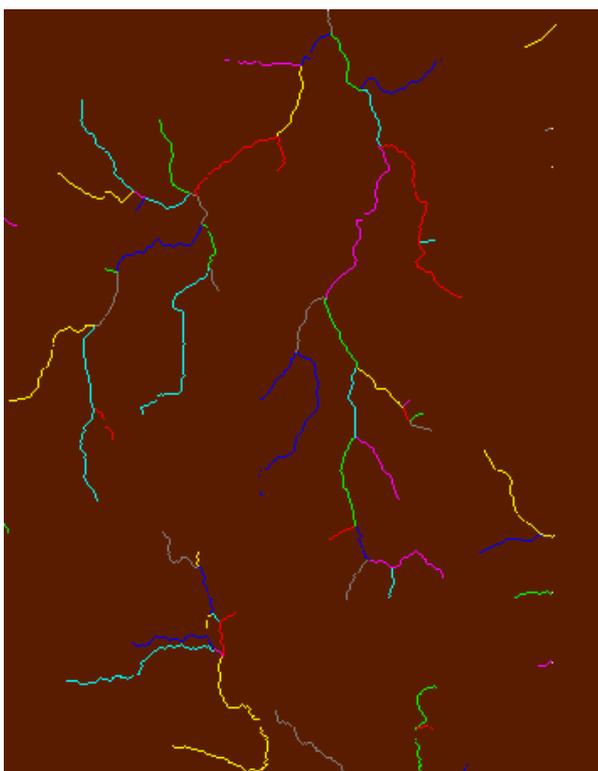
Figura 38. Ventana de la operación Drainage Network Ordering



Fuente: propia

El resultado es un mapa donde se ha atribuido colores diferentes a los ríos además de atributos a cada uno de ellos.

Figura 39. Mapa raster de orden de red

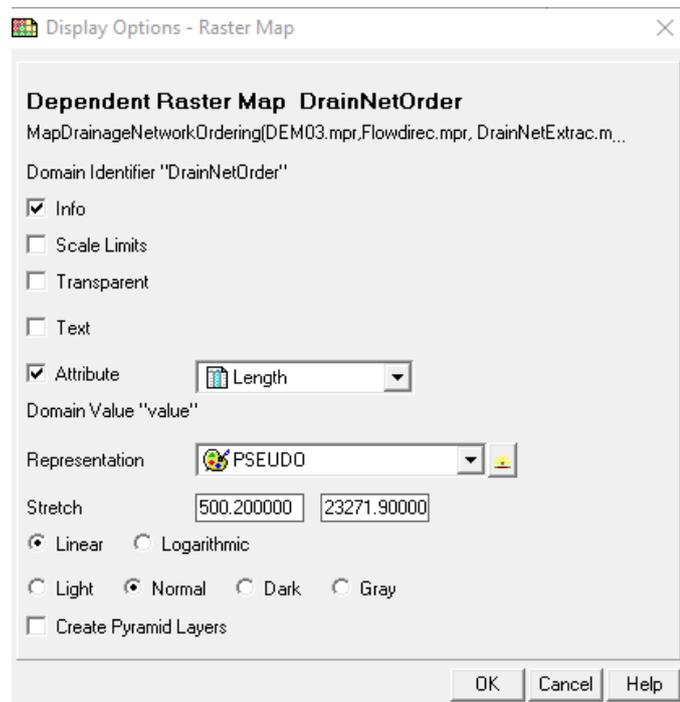


Fuente: propia

Dentro de este raster ingresamos a una opción donde nos permite ver los atributos, de aquí se puede elegir los parámetros de los ríos.

Se seleccionó el parámetro "Length" y nos permite ver la longitud de los ríos al momento de seleccionarlo.

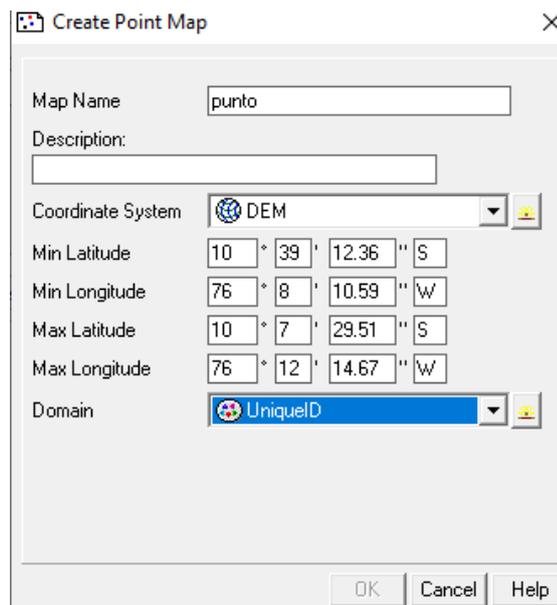
Figura 40. Ventana de Display Options



Fuente: propia

Ahora entramos netamente a la delimitación de la cuenca, para lo cual es necesario indicar el punto desde donde se formará nuestra cuenca, para lo cual requiere crear un mapa de puntos.

Figura 41. Ventana para crear un mapa de punto.



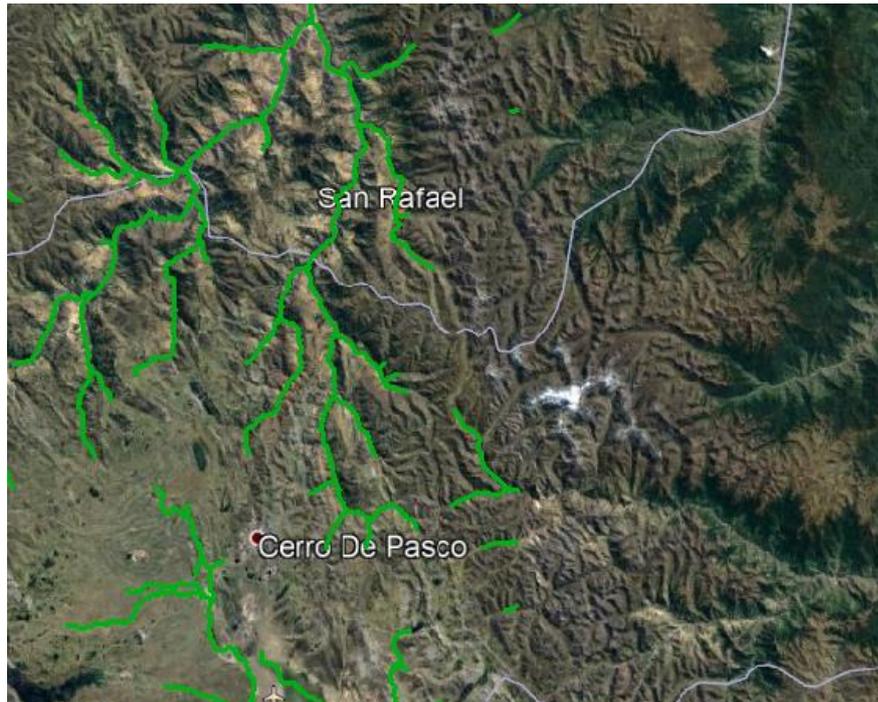
Fuente: propia

Lo que prosigue es editar el mapa de puntos creado para lo cual superpondremos mapas en el siguiente orden:

- ✓ Abrir el objeto raster Fotosatelital.
- ✓ Abrir el objeto de segmentos DrainNetOrd.
- ✓ Abrir el objeto de puntos Punto.

Lo que se obtiene es lo mostrado en la *Figura 42*

Figura 42. Mapas superpuestos



Fuente: propia

Editamos el punto para marcar el lugar donde se quiere que empiece la cuenca como se puede observar en la *Figura 43*.

Figura 43. Punto donde empieza la subcuenca



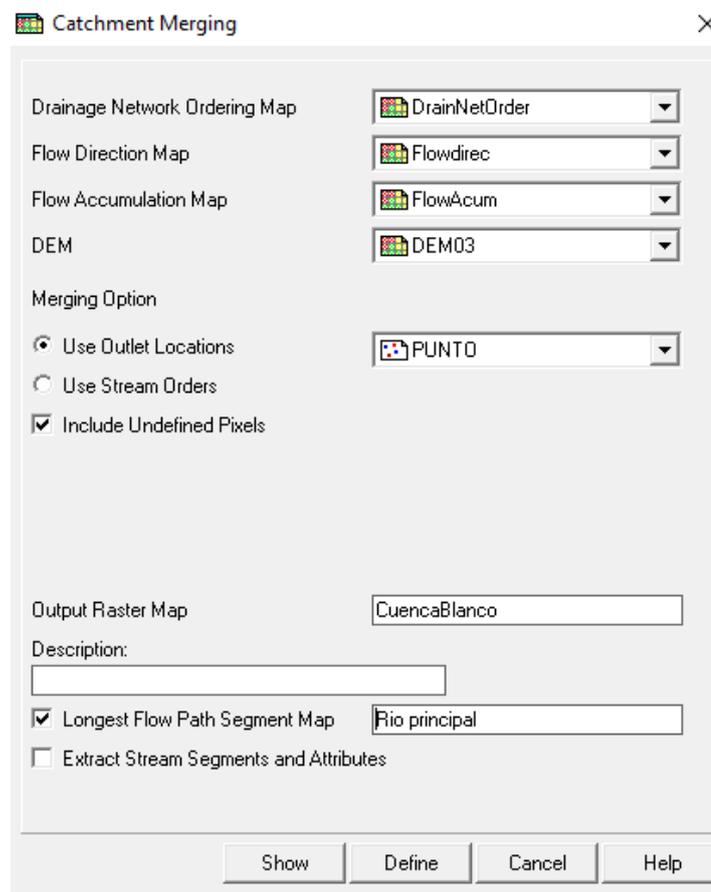
Fuente: propia

Hasta este procedimiento hemos utilizado el software ILWIS 3.7.2 y a partir de aquí se usa el software ILWIS 3.3 Academic

Usamos la operación Catchment Merge, este puede fusionar cuencas adyacentes, tal como se encuentra en la operación de extracción de captación. De hecho, se crearán nuevas cuencas en función del mapa de ordenamiento de la red de drenaje y su tabla de atributos. (Hengl, 2008)

Hay dos maneras de fusionar cuencas, la que optaremos es especificando un mapa de puntos que contiene ubicaciones de salidas de corriente dentro de una cuenca; todas las cuencas adyacentes que drenan en tales salidas se fusionarán. (Hengl, 2008).

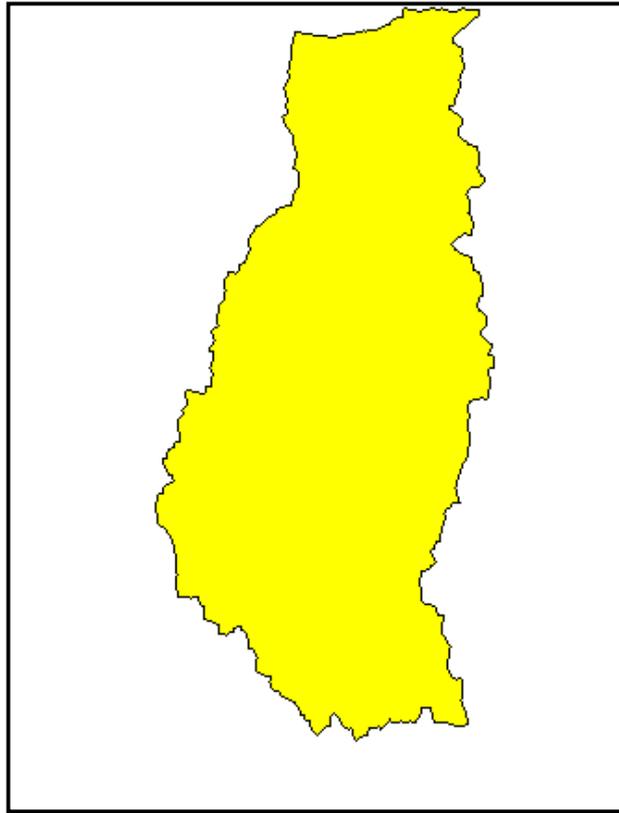
Figura 44. Ventana de la operación Catchment Merging



Fuente: propia

Lo obtenido será la Subcuenca Blanco debidamente delimitada como se puede apreciar en la *Figura 45*

Figura 45. Delimitación de la Subcuenca Blanco



Fuente: propia

Para poder saber las propiedades, como son el área y el perímetro de la subcuenca, lo podemos observar en la tabla que se crea al momento de ejecutar la operación Catchment Merge.

Figura 46. Cuadro de propiedades de la subcuenca Blanco

Perimeter	CatchmentArea	TotalUpstreamArea	TotalDrainageLength	DrainageDensity (m/km2)	LongestFlowPathLength
228639.91	1564244315.00	1564244315.00	196583.50	125.67	86944.56
228639.91	1564244315.00	1564244315.00	196583.50	125.67	86944.56
228639.91	1564244315.00	1564244315.00	196583.50	125.67	86944.56
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
228639.91	1564244315.00	1564244315.00	196583.50	125.67	86944.56

Fuente: propia

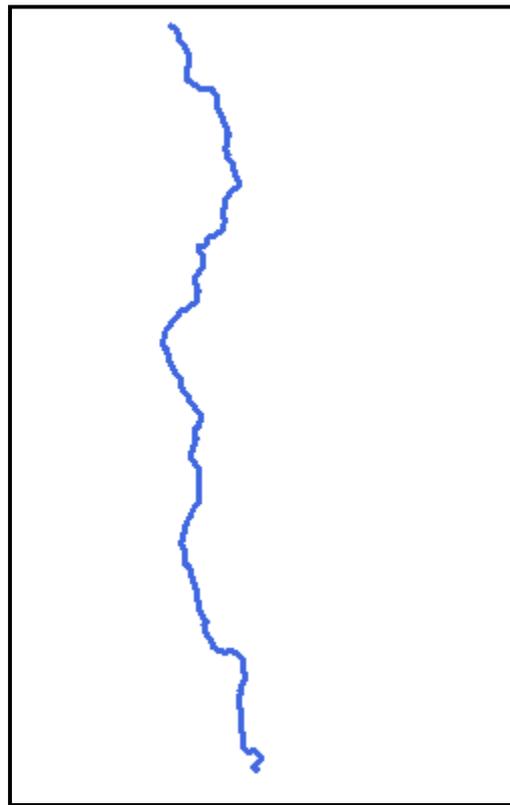
De donde podemos obtener cálculos importantes como lo son:

- Perímetro de la cuenca: 228639.91 m
- Área de la cuenca: 1564244315 m²

- Longitud total de drenaje: 196583.50 m
- Densidad de drenaje: 125.67 m/km²
- Cota máxima del cauce: 4444 m
- Cota mínima del cauce : 2057 m

También es necesario conocer el río principal, por eso abrimos el mapa de segmentos creado anteriormente después abriremos la tabla donde muestran las propiedades.

Figura 47. Río principal de la subcuenca Blanco



Fuente: propia

Figura 48. Cuadro de propiedades del cauce principal

UpstreamCoord	DownstreamCoord	Length	StraightLength	Sinuosity
10°44'53.6"S, 76°07'52.76"W	10°07'41.9"S, 76°12'14.10"W	86944.6	69386.7	1.253
		86944.6	69386.7	1.253
		86944.6	69386.7	1.253
		0.0	0.0	0.000
		86944.6	69386.7	1.253

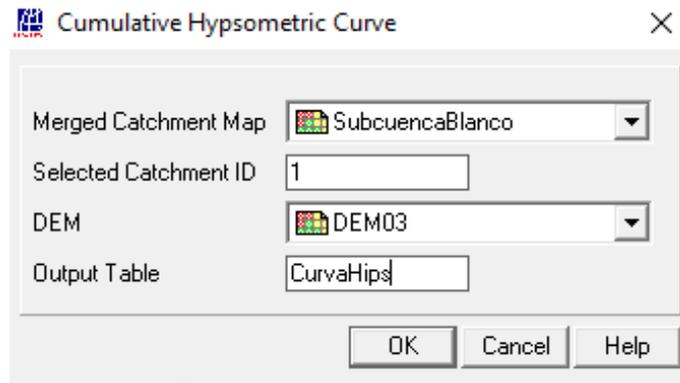
Fuente: propia

Los datos del cauce principal son los siguientes:

- Longitud: 86944.6 m.
- Longitud de la cuenca: 69386.7 m.
- Sinuosidad del cauce: 1.253 m/m

Por último para la obtención de la curva hipsométrica se usa la operación Statistical Parameter Extraction dentro de este la opción Cumulative hypsometric curve, el script de curva hipsométrica acumulativa cruza un mapa de cuencas fusionadas con su DEM. La secuencia de comandos le pedirá la identificación de una sola cuenca que desea utilizar en la Cruz. (Hengl, 2008)

Figura 49. Ventana para la creación de la curva hipsométrica



Fuente: propia

Después del proceso se nos mostrará una tabla donde muestra lo siguiente:

Figura 50. Cuadro de datos de la curva hipsométrica

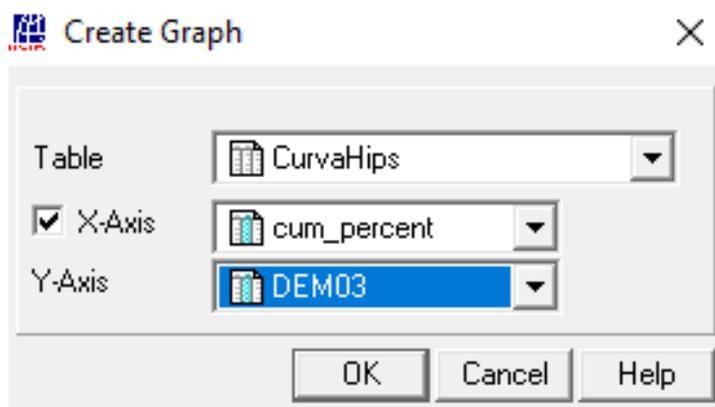
	c temp	DEM03	NPix	Area	cum_area	cum_percent
True * 2057.0	True	2057.0	1	0.0	1.0	0.00
True * 2065.0	True	2065.0	1	0.0	2.0	0.00
True * 2070.0	True	2070.0	1	0.0	3.0	0.01
True * 2073.0	True	2073.0	2	0.0	5.0	0.01
True * 2075.0	True	2075.0	1	0.0	6.0	0.01
True * 2077.0	True	2077.0	1	0.0	7.0	0.01
True * 2084.0	True	2084.0	1	0.0	8.0	0.02
True * 2087.0	True	2087.0	2	0.0	10.0	0.02
True * 2089.0	True	2089.0	1	0.0	11.0	0.02
True * 2100.0	True	2100.0	1	0.0	12.0	0.02
True * 2101.0	True	2101.0	1	0.0	13.0	0.03
True * 2103.0	True	2103.0	4	0.0	17.0	0.03
True * 2104.0	True	2104.0	1	0.0	18.0	0.04
True * 2108.0	True	2108.0	2	0.0	20.0	0.04
True * 2109.0	True	2109.0	2	0.0	22.0	0.04
True * 2110.0	True	2110.0	1	0.0	23.0	0.05
True * 2111.0	True	2111.0	1	0.0	24.0	0.05
True * 2112.0	True	2112.0	2	0.0	26.0	0.05
True * 2114.0	True	2114.0	2	0.0	28.0	0.06
True * 2116.0	True	2116.0	1	0.0	29.0	0.06
True * 2119.0	True	2119.0	1	0.0	30.0	0.06
True * 2121.0	True	2121.0	1	0.0	31.0	0.06
True * 2123.0	True	2123.0	2	0.0	33.0	0.07
True * 2127.0	True	2127.0	2	0.0	35.0	0.07
True * 2128.0	True	2128.0	4	0.0	39.0	0.08
True * 2130.0	True	2130.0	1	0.0	40.0	0.08
True * 2132.0	True	2132.0	1	0.0	41.0	0.08
True * 2139.0	True	2139.0	1	0.0	42.0	0.08
True * 2140.0	True	2140.0	2	0.0	44.0	0.09
True * 2141.0	True	2141.0	2	0.0	46.0	0.09

Fuente: propia

En la tabla cruzada resultante, los valores acumulativos se calculan para el Área de los valores de altura subsiguientes en píxeles y porcentajes, por lo cual se obtienen dos gráficos; podemos observar que el programa hizo el cálculo de áreas entre curvas de nivel cada metro.

Para poder obtener el gráfico rellenamos como se muestra en la *Figura 51*

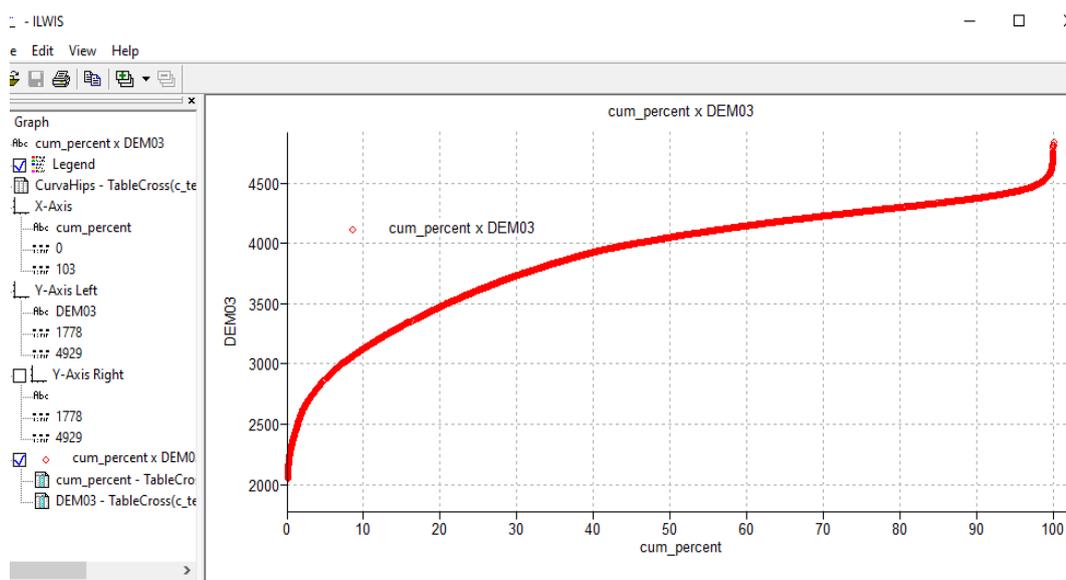
Figura 51. Ventana para crear el grafico de la curva hipsométrica



Fuente: propia

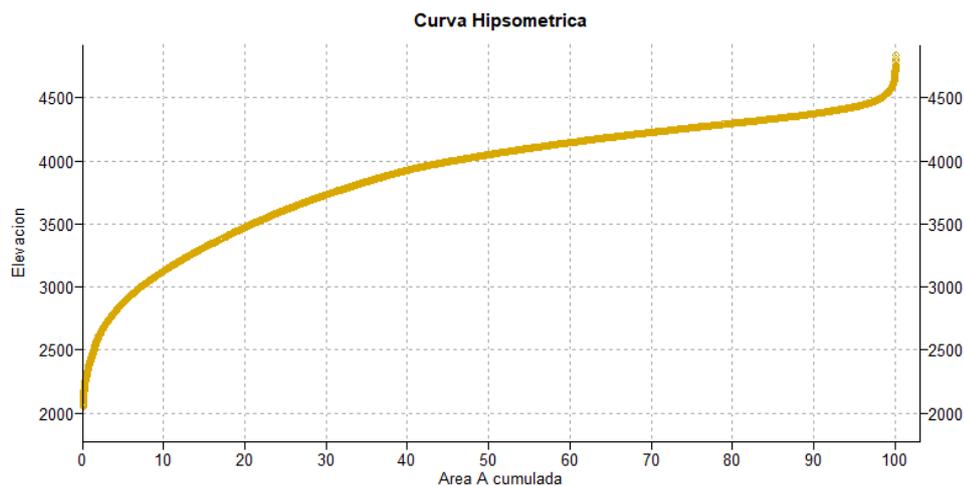
Lo que nos resulta es la *Figura 52* y editando los nombres de los ejes y algunas otras cosas, en la parte lateral izquierda lo obtenido será la *Figura 53*

Figura 52. Gráfico de salida de la curva hipsométrica



Fuente: propia

Figura 53. Curva Hipsométrica de la subcuenca Blanco

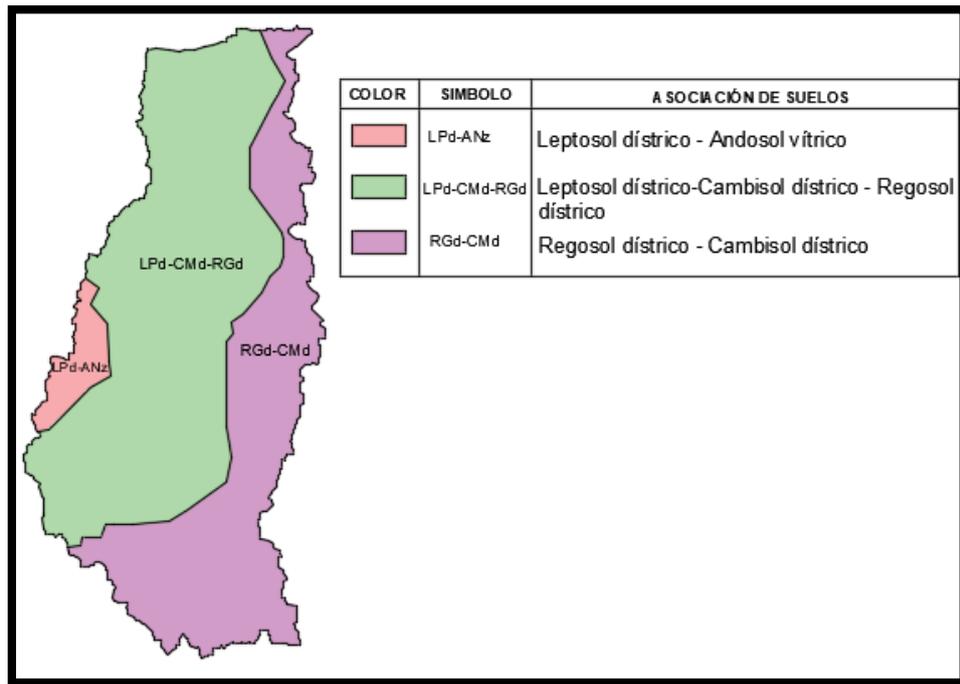


Fuente: propia

Creación de un mapa de suelos

Se hace una digitalización de las áreas conforme a lo mostrado en el mapa de suelos del Perú elaborado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). Lo obtenido será el mapa de suelos de la subcuenca Blanco.

Figura 54. Mapa de suelos de la subcuenca Blanco



Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra las características que presentan estos suelos

Tabla N° 20 Características de los suelos de la subcuenca Blanco

Símbolo	Descripción	Características
LPd-ANz	Leptosol dístico - Andosol vítrico	Colinas y montañas, en menor proporción lomadas. Pendientes de 25 a +75.
LPd-CMd-RGd	Leptosol dístico - Cambisol dístico - regosol dístico	
RGd-CMd	Regosol dístico - Cambisol dístico	Lomadas, colinas y montañas Pendientes de 25 a +75

Fuente: propia

Calculo del número de curva (CN)

Para el cálculo de numero de curva se requiere saber el uso de tierras, pero como la subcuenca Blanco abarca parte del departamento de Huánuco así como también una parte del departamento de Cerro de Pasco, por lo tanto para crear el mapa de uso de tierras, requiere de los archivos en formato shapefile, pero solo se cuenta con el archivo

del departamento de Huánuco, mientras que para el departamento Cerro de Pasco no está disponible, por este motivo no se puede realizar el mapa con exactitud. Al ver esto se hizo un análisis visual en el Google Earth, concluyendo que predomina tres tipos de uso de suelo para cada área de suelo mostrado en la figura, de esta manera podemos lograr estimar con una confiabilidad aceptable el número de curva.

Tabla N° 21 Número de curva según el uso de suelo de la subcuenca Blanco

Uso de la tierra	Sistema de laboreo	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Pastura natural	En contorno	regular	25	59	75	83
Cultivos Densos	En contorno	Buena	61	73	81	84
Pastura natural		regular	49	69	79	84

Fuente: propia

Según (Villon m. , 2002). Define los grupos de suelos, los cuales pueden ser:

Grupo A. tiene bajo potencial de escorrentía

Grupo B, tiene un moderado bajo potencial de escorrentía

Grupo C, tiene un moderado alto potencial de escorrentía

Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía.

Pero una manera alternativa de determinar el grupo hidrológico es sabiendo los suelos. De acuerdo a la descripción de suelo dado por la FAO, se identifica a que grupo hidrológico de suelo pertenece, como se muestra en la *Figura 55* (Portuguez & Verano , 2016).

Figura 55. Grupo hidrológico según descripción del suelo.

Descripción de suelos	Simbología	Grupo hidrológico
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACH-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACH-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol déstrico - Acrisol háplico	CMd-ACH	C
Cambisol déstrico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACH-LXh	C
Cambisol déstrico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol déstrico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol déstrico - Cambisol déstrico	GLd-CMd	B
Gleysol déstrico - Histosol fibrico	GLd-HSf	D
Gleysol déstrico - Lixisol háplico - Fluvisol déstrico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol déstrico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol déstrico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol déstrico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol déstrico - Cambisol déstrico - Regosol déstrico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol déstrico - Regosol déstrico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol déstrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éutrico	LVx-CMe	C
Regosol déstrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol déstrico - Cambisol déstrico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico - Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éutrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éutrico - Cambisol éutrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éutrico	SCh-LPe	A

Fuente: (PORTUGUEZ & VERANO, 2016)

Como dentro de la cuenca se cuenta con diferentes suelos, con su respectivo grupo hidrológico, y en que predominan ciertos usos de suelo, se realizará el cálculo de número de curva compuestos, a partir de las áreas que abarcan los suelos. El resultado se muestra en la *Tabla N° 22*

Tabla N° 22 Cálculo del número de curva compuesto

Descripción de Suelo	Área (m2)	Grupo	CN	CN X Área
Leptosol dístico - Andosol vítrico	63376308	B	59	3739202172
Leptosol dístico - Cambisol dístico - regosol dístico	908774944	B	73	66340570912
Regosol dístico - Cambisol dístico	592093063	C	79	46775351977
Total	1564244315			116855125061

CN compuesto	74.7
-------------------------	-------------

Fuente: propia

Cálculo del caudal máximo por el método racional modificado

Para la primera forma de cálculo necesitamos los datos calculados en el software ILWIS, las precipitaciones máximas de 24 horas y el número de curva calculado. Estos se ingresarán a la hoja de cálculo donde se obtendrá el coeficiente de escorrentía y la intensidad, con esos datos se calculará el caudal máximo. A continuación se muestran de las tablas con los resultados obtenidos.

Tabla N° 23 Datos de la geometría de la cuenca

GEOMETRIA DE LA CUENCA		
Área de la cuenca	1564.244315	km2
Longitud del cauce	86.9446	km
Cota máxima del cauce	4444	m
Cota mínima del cauce	2057	m
Pendiente del cauce	2.75	%
CN	74.7	

Fuente: propia

Tabla N° 24 Datos hidrológicos necesarios para la fórmula del método racional modificado

DATOS HIDROLÓGICOS		
Pd- Maxima lluvia en 24 h	34.44	mm
Po- Umbral de escorrentia	6.89	mm
Tc- Tiempo de concentracion	17.7	h

Fuente: propia

Tabla N° 25 Cálculo del caudal por el método racional modificado

METODO TEMEZ MODIFICADO

Ka - Factor reductor lluvia	0.79		
P'd- Máxima lluvia corregida	27.11	mm/h	
I'd- Intensidad media diaria	1.13	mm/h	
I't - Intensidad para Tc	1.65	mm/h	
C- Coeficiente de escorrentía	0.093		
K-Coeficiente de Uniformidad	1.721		

Q=	114.96	m ³ /s
-----------	---------------	-------------------

Fuente: propia

El procedimiento mostrado se hizo para las precipitaciones máximas de 24 horas para cada periodo de retorno, para los cuales se calculó el caudal máximo. Obteniéndose lo presentado en la *Tabla N° 26*

Tabla N° 26 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno por la primera forma de cálculo

T (años)	P(mm.)	Q (m3/s)
2	34.44	114.96
5	44.53	250.73
10	50.48	346.79
20	55.75	440.61
25	57.35	470.66
50	62.08	563.62
100	66.55	656.38
200	70.82	748.85
500	76.22	871.91
1000	80.16	965.62

Fuente: propia

Para la segunda forma utilizaremos en la fórmula del método racional modificado, la intensidad calculada por la ecuación de la curva IDF, esta intensidad será para una duración de 17.7 horas, que es tiempo de concentración. Obteniendo así caudales máximos para diferentes periodos de retornos.

Tabla N° 27 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno por la segunda forma de cálculo

T (años)	I (mm/h)	Q (m3/s)
2	2.03576469	141.61
5	2.28385775	268.18
10	2.49142784	356.94
20	2.71786311	448.02
25	2.79505131	478.43
50	3.04908162	577.28
100	3.32619965	684.13
200	3.62850377	800.46
500	4.07069955	971.47
1000	4.44066809	1115.67

Fuente: propia

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Ahora toca hacer tomar la decisión si la hipótesis planteada es aceptada o rechazada de acuerdo a la investigación realizada.

HIPÓTESIS

La determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS mejora el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.

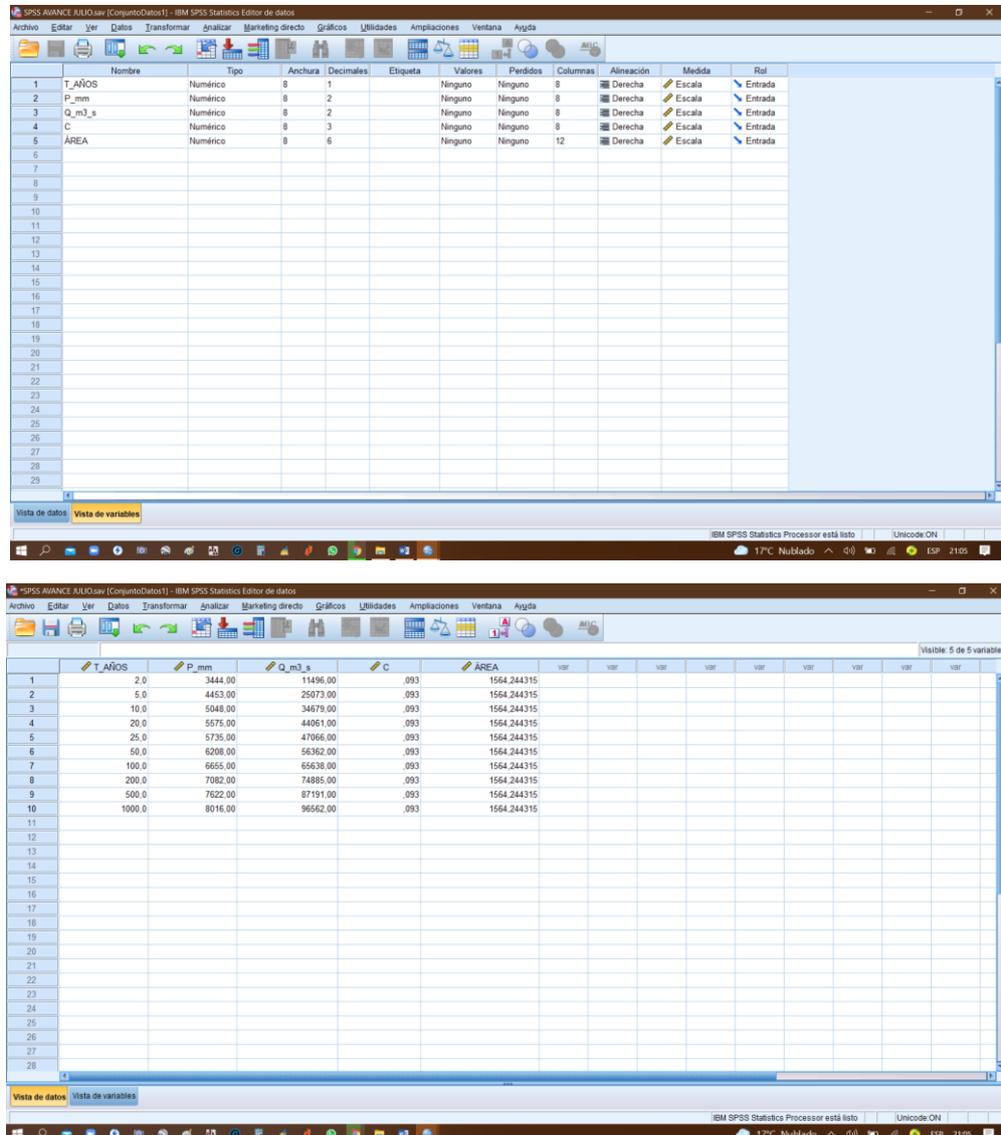
Para hacer la prueba de hipótesis es necesario revisar los estudios realizados por profesionales y obtener el valor del caudal máximo, si bien existe una gran cantidad se seleccionó el expediente que se encontraba disponible, y una vez obtenida la información se elaboró una tabla comparativa entre los caudales hallados propiamente en las dos formas de cálculo y el caudal usado en el diseño de obras hidráulicas en la subcuenca Blanco. Esto nos permitirá evaluar si la estructura hidráulica construida ha sido correctamente dimensionada

con los datos de caudales calculados para el proyecto, si se ha desempeñado adecuadamente a lo largo de su vida útil y si no ha tenido algún inconveniente. Así podremos determinar si con esta investigación se estaría contribuyendo a mejorar el dimensionamiento de estructuras hidráulicas.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS DATOS DEL PROCESAMIENTO EN ILWIS

El entorno del SPSS tiene dos presentaciones vista de datos y vista de variables. Se puede observar variables de tipo nominal, tipo ordinal y de intervalos; cada una tiene cierto tipo de gráfico de presentación.

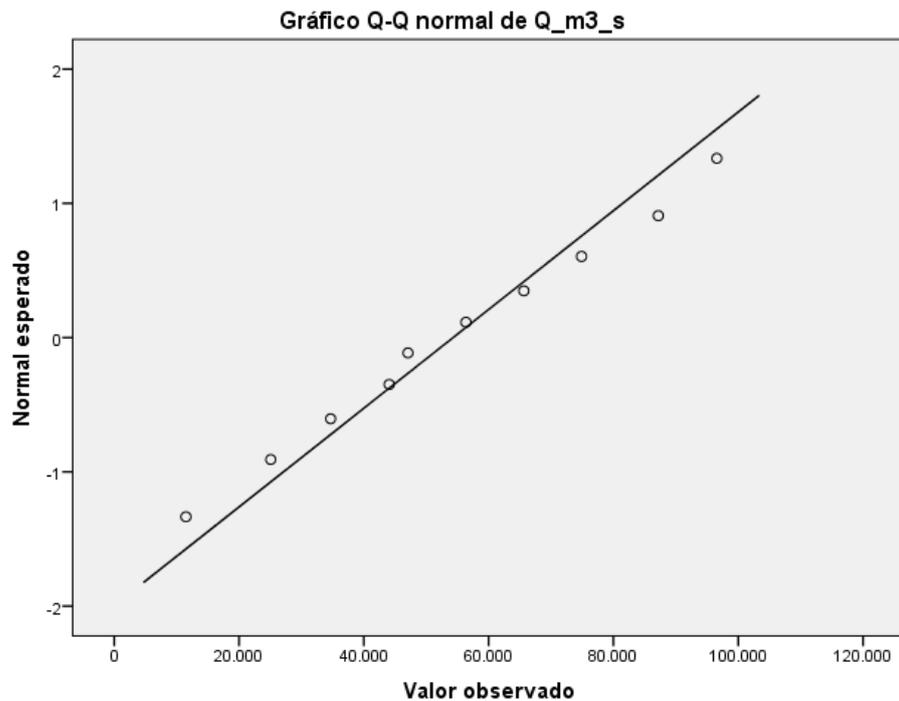
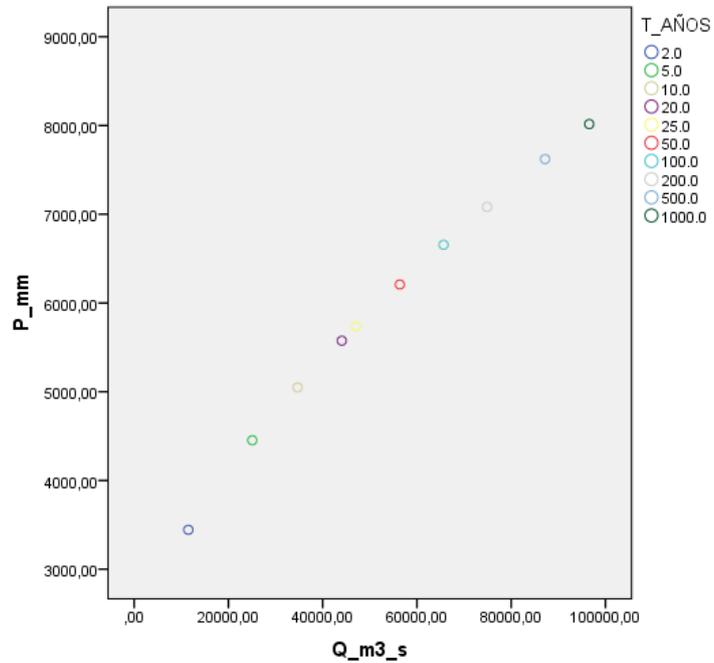
Figura 56. Vista de Variables/ Datos – SPSS 24



Fuente: propia

Para correlacionar realizamos el gráfico de dispersión. El gráfico nos muestra que hay una tendencia hacia arriba lo que nos indica que hay una correlación positiva directa. Implica que a mayor precipitación es mayor el caudal.

Figura 57. Gráficos de Dispersión – SPSS 24



Fuente: propia

Para poder obtener qué tipo de estadístico utilizar, vamos a determinar el tipo de distribución de los datos mediante la prueba de normalidad.

Figura 58. Cuadro de Prueba de Normalidad – SPSS 24

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
P_mm	10	100,0%	0	0,0%	10	100,0%
Q_m3_s	10	100,0%	0	0,0%	10	100,0%

Descriptivos

		Estadístico	Error estándar	
P_mm	Media	5983,8000	452,38906	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4960,4248	
		Límite superior	7007,1752	
	Media recortada al 5%	6012,0000		
	Mediana	5971,5000		
	Varianza	2046558,622		
	Desviación estándar	1430,57982		
	Mínimo	3444,00		
	Máximo	8016,00		
	Rango	4572,00		
	Rango intercuartil	2317,75		
	Asimetría	-,306	,687	
Curtosis	-,493	1,334		
Q_m3_s	Media	54301,3000	8597,79706	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	34851,7318	
		Límite superior	73750,8682	
	Media recortada al 5%	54331,5556		
	Mediana	51714,0000		
	Varianza	739221142,7		
	Desviación estándar	27188,62157		
	Mínimo	11496,00		
	Máximo	96562,00		
	Rango	85066,00		
	Rango intercuartil	45684,00		
	Asimetría	,061	,687	
Curtosis	-,823	1,334		

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P_mm	,088	10	,200*	,982	10	,975
Q_m3_s	,105	10	,200*	,983	10	,980

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

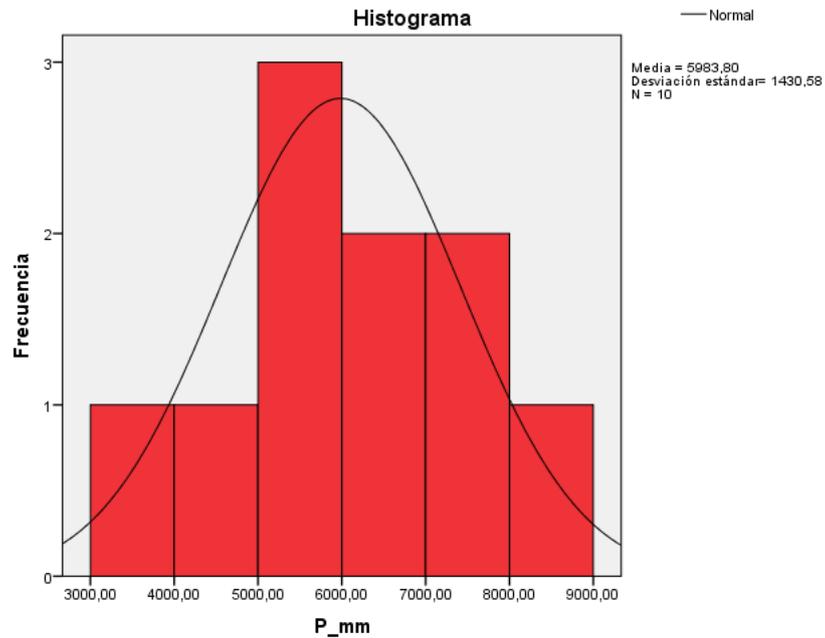
Fuente: propia

Sabemos que: Sig. > 0.05 (Paramétrica - Prueba Pearson)

Sig. < 0.05 (No paramétrica - Prueba Spearman)

Observamos que los valores de la significación Sig. son 0.200 (mayor a 0.05); significa que las variables presentan una distribución normal o paramétrica por lo tanto utilizamos el estadístico de correlación paramétrico (Pearson).

Figura 59. Histograma de distribución normal o paramétrica – SPSS 24



Fuente: propia

Habiendo definido y realizado la prueba de Pearson, nos indica que:
 Correlación de Pearson: Positiva – Fuerte ($0.5 < 0.995 < 1$)
 Significancia asintótica: Estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

Figura 60. Cuadro de Correlación – Estadístico de PEARSON– SPSS 24

		P_mm	Q_m3_s
P_mm	Correlación de Pearson	1	,995**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	10	10
Q_m3_s	Correlación de Pearson	,995**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	10	10

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

Fuente: propia

Esto indica que existe correlación entre las variables, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis del investigador H_1 . Teniendo en cuenta la teoría estadística de contrastación de Hipótesis, mediante el Estadístico de PEARSON según el procedimiento antes mencionado.

El estudio hidrológico hecho para el proyecto: "CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO" se realizó tomando en cuenta las estaciones de San Rafael, Ambo, Huariaca y Huánuco los datos de precipitación fueron tomados desde el año 1962 hasta el 1980, estas estaciones se consideraron para hacer el análisis de consistencia, después se hizo el cálculo de precipitaciones máximas para cada distribución de probabilidad y al momento de hacer la prueba de ajuste.

En cuanto a la información de la cuenca del proyecto: "CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO" lo único que había era el área y el perímetro.

Tabla Nº 28 Datos de la microcuenca del puente

MICROCUENCA DEL PUENTE DE AMBO		
DESCRIPCION	AREA (Km2)	PERIMETRO (Km)
MICROCUENCA DEL PUENTE	1521.344325	215.011689

Fuente: Expediente Técnico "CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO"

Una vez contando con esta información se procedió a calcular el coeficiente de escorrentía (C), el cual se compone de las tres componentes, es decir la primera que está en función de la cobertura vegetal, la segunda que está en función de la textura del suelo y la tercera que está en función de la topografía del terreno, sumando estas tres valores se obtiene el valor de C. Finalmente, el caudal se determinó mediante la fórmula de Mac Math. Se muestra los caudales obtenidos:

Tabla N° 29 Caudales máximos del puente Huancapata

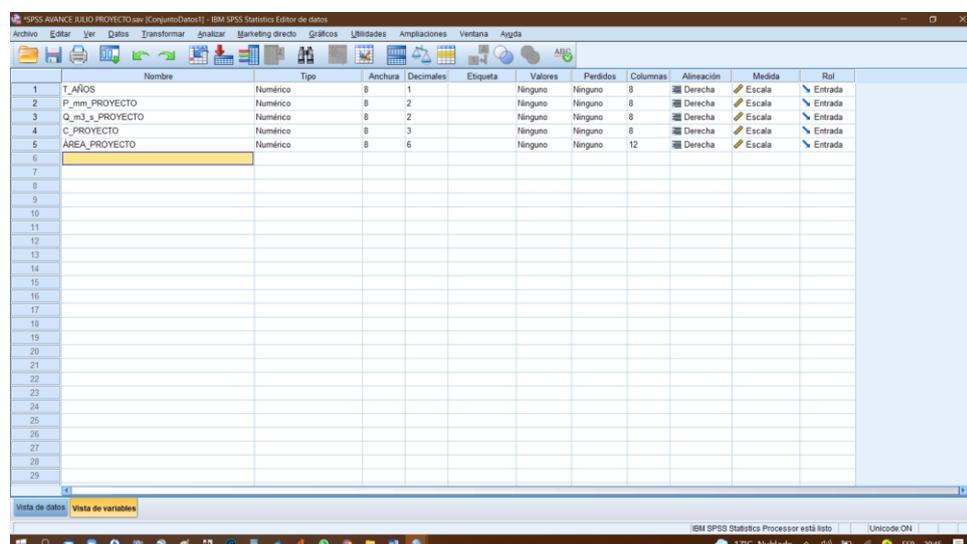
PERIODO DE RETORNO	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	Pmax 24 hr mm	AREA Ha	PENDIENTE PROMEDIO m/km	CAUDAL MÁXIMO m3/seg
2	0.42	90.1	152134.4	38.9	178.42
5	0.42	115.8	152134.4	38.9	229.31
10	0.42	130.2	152134.4	38.9	257.83
25	0.42	144.8	152134.4	38.9	286.74
50	0.42	154.4	152134.4	38.9	305.75
100	0.42	162.9	152134.4	38.9	322.58
200	0.42	174.6	152134.4	38.9	345.75
500	0.42	206.7	152134.4	38.9	409.32

Fuente: Expediente Técnico "CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO"

Para el método estadístico de comprobación de los datos que se tienen del expediente técnico, nos apoyamos en el programa SPSS.24; el cual siguiendo el procedimiento teórico nos define el sentido; la fuerza de correlación, el signo de correlación, el estadístico a utilizar (Pearson/Spearman), la normalidad, la asociación o dispersión de datos y los valores matemáticos que dan veracidad a las correlaciones bivariadas. Todo esto se detalla en los gráficos que se muestran a continuación.

RESULTADOS CON LOS DATOS DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO HECHO PARA EL PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO"

Figura 61. Vista de Variables/ Datos – SPSS 24 Expediente Técnico



SPSS AVANCE JULIO PROYECTO.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Visible: 5 de 5 variables

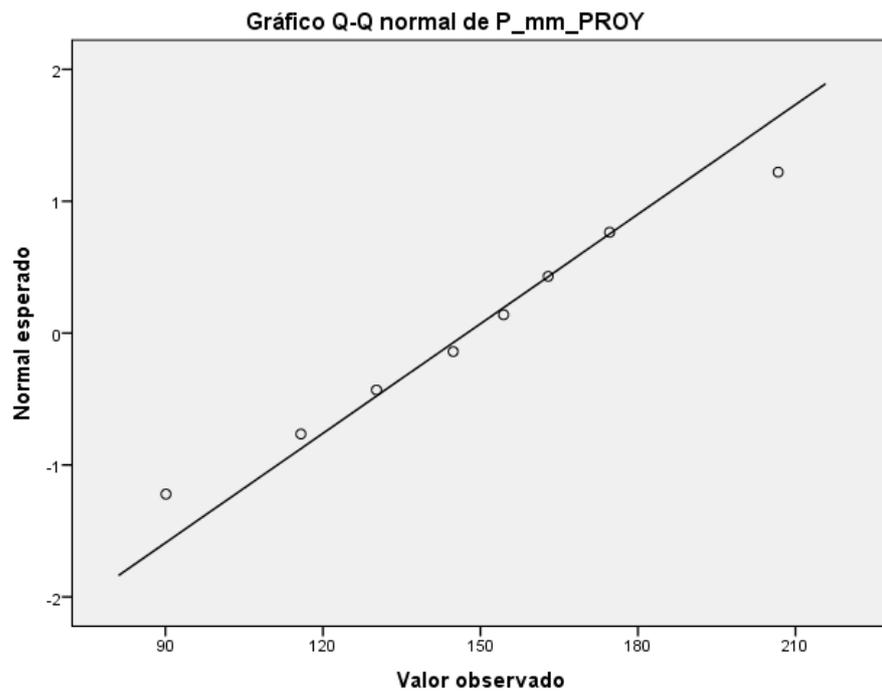
	T_AÑOS	P_mm_PROYECTO	Q_m3_s_PROYECTO	C_PROYECTO	AREA_PROYECTO							
1	2.0	98.10	178.42	.420	1521.344000							
2	5.0	115.80	229.31	.420	1521.344000							
3	10.0	130.20	257.83	.420	1521.344000							
4	25.0	144.80	286.74	.420	1521.344000							
5	50.0	154.40	305.75	.420	1521.344000							
6	100.0	162.90	322.58	.420	1521.344000							
7	200.0	174.60	345.75	.420	1521.344000							
8	500.0	206.70	409.32	.420	1521.344000							
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												

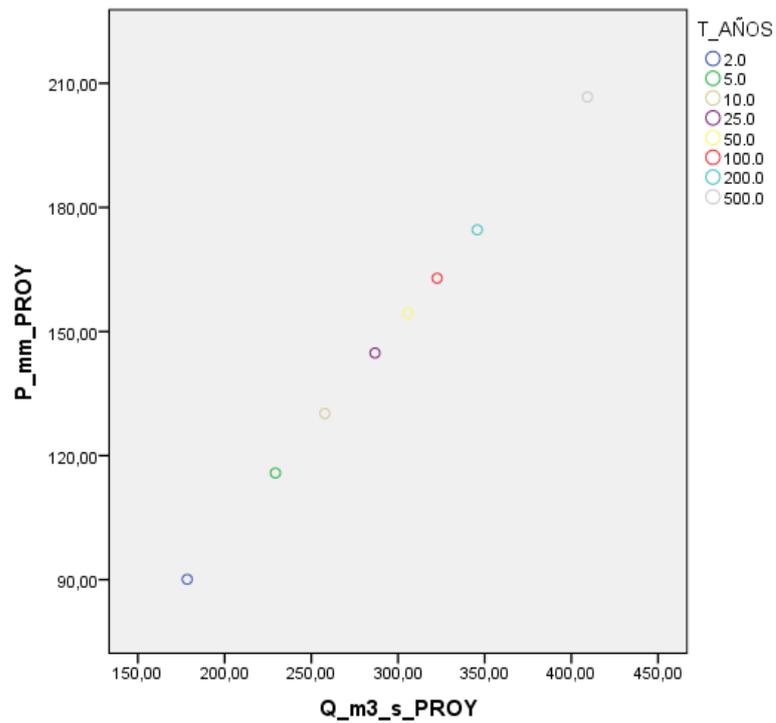
Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo | Unicode ON | 17°C Nublado | 10:00 | ESP 2046

Fuente: propia

Figura 62. Gráficos de Dispersión – SPSS 24 Expediente Técnico





Fuente: propia

Figura 63. Cuadro de Prueba de Normalidad – SPSS 24 Expediente Técnico

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
P_mm_PROY	Media		147,4375	12,76856
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	117,2447	
		Límite superior	177,6303	
	Media recortada al 5%		147,3306	
	Mediana		149,6000	
	Varianza		1304,288	
	Desviación estándar		36,11493	
	Mínimo		90,10	
	Máximo		206,70	
	Rango		116,60	
	Rango intercuartil		52,28	
	Asimetría		,028	,752
	Curtosis		,106	1,481
Q_m3_s_PROY	Media		291,9625	25,28514
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	232,1726	
		Límite superior	351,7524	
	Media recortada al 5%		291,7506	
	Mediana		296,2450	
	Varianza		5114,706	
	Desviación estándar		71,51717	
	Mínimo		178,42	
	Máximo		409,32	
	Rango		230,90	
	Rango intercuartil		103,52	
	Asimetría		,028	,752
	Curtosis		,106	1,481

Pruebas de normalidad

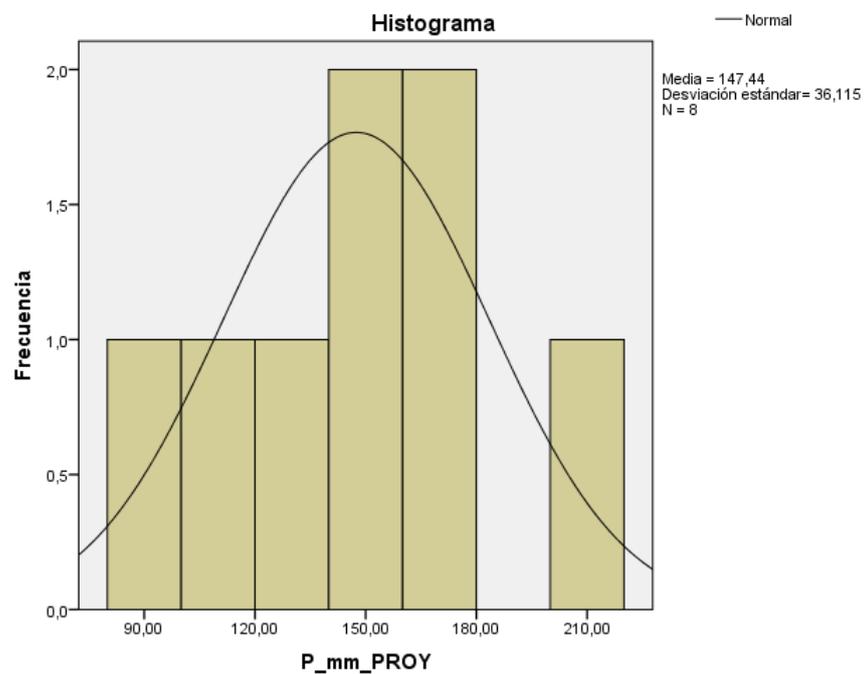
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P_mm_PROY	,101	8	,200*	,997	8	1,000
Q_m3_s_PROY	,101	8	,200*	,997	8	1,000

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: propia

Figura 64. Histograma de distribución normal o paramétrica – SPSS 24 Expediente Técnico



Fuente: propia

Figura 65. Cuadro de Correlación – Estadístico de PEARSON– SPSS 24

Correlaciones

		P_mm_PROY	Q_m3_s_PROY
P_mm_PROY	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	8	8
Q_m3_s_PROY	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	8	8

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

Fuente: propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene por objetivo obtener resultados de los caudales máximos para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas de la Subcuenca Blanco en la Provincia de Ambo – Huánuco 2020. De los resultados con una previa evaluación son los siguientes:

1. Tras lo evidenciado en la bibliografía se puede decir que la subcuenca blanco está dentro de rango de los valores del área de cuenca y tiempo de concentración para utilizar el método racional modificado del Prof. D. José Ramón Témez del Centro de Estudios Hidrográficos. Esto tiene concordancia con lo mencionado por:

(García Durá, 2017) en su tesis de grado titulada “Cálculo Hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez, Que dicen que el método racional modificado por Témez se emplea para cuencas con un tiempo de concentración pequeño ($0.25h \geq t_c \geq 24 h$) y con una superficie de hasta 3.000 km².

2. Tras lo evidenciado de los resultados de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, podemos decir que los valores son altos debido a la metodología usada, donde influye el área de la cuenca. Esto guarda relación con lo expresado por:

(Miñano López, 2006) en su tesis de grado, que concluye que ,los límites de aplicación que considera el método racional modificado para cuencas con tiempos de concentración del orden de áreas $A \leq 3000 \text{ km}^2$, son límites excesivamente grandes ya que se estaría subestimando caudales, recomendando que para cuencas superiores a los 250 km², sería conveniente hacer subdivisiones en subcuencas y aplicar algún método de tránsito.

A continuación se muestra la comparación de los caudales calculados por el proyecto y los obtenidos en esta investigación por las dos maneras de cálculo.

Tabla Nº 30 Comparación entre caudales del proyecto del puente y los de esta investigación

PERIODOS DE RETORNO AÑOS	CAUDAL DEL PROYECTO M3/SEG	CAUDAL DE LA INVESTIGACIÓN PRIMERA FORMA M3/SEG	CAUDAL DE LA INVESTIGACIÓN SEGUNDA FORMA M3/SEG
2	178.42	114.96	141.61
5	229.31	250.73	268.18
10	257.83	346.79	356.94
25	286.74	470.66	478.43
50	305.75	563.62	577.28
100	322.58	656.38	684.13
200	345.75	748.85	800.45
500	409.32	871.91	971.47

Fuente: propia

De la tabla podemos observar claramente que la diferencia es bastante significativa entre lo calculado por el proyecto y lo calculado en esta investigación por las dos formas, por los datos analizados la diferencia radica en los métodos utilizados.

Para comprobar si los caudales conseguidos por el proyecto permitieron el diseño acertado del Puente, se revisó si en las últimas avenidas máximas, pudieron estar a la altura ante dichos acontecimientos o si presentaron algunos inconvenientes, para lo cual se buscó las noticias en los periódicos de la región y lo encontrado fue lo siguiente:

Según lo mencionado por el diario Ahora el día 16 de marzo del 2019 debido a las precipitaciones pluviales, que generó incremento del caudal y del desborde del río Huallaga, y dañaron diversas infraestructuras. El caudal en aumento arrasó con los muros de contención de la ribera. El desborde también dañó la base del puente Huancapata, que comunica a la ciudad de Ambo con el barrio del mismo nombre, donde 10 viviendas quedaron dañadas.

Figura 66. Desborde del río Huallaga en el puente Huancapata



Fuente: (Ahora, 2019)

En el barrio 23 de agosto el canal de riego se desbordó ocasionando que las aguas del Huallaga afecten las viviendas de ese lugar; los trabajadores de la Municipalidad decidieron clausurar la toma del canal para que las aguas no sigan afectando la zona. En el jr. Carmen Alto en el pasaje Celadita, el desagüe se obstruyó ocasionando que las aguas servidas ingresen a más de 15 viviendas. (Ahora, 2019)

De toda la información brindada se concluye que el caudal está en incremento, debido a lluvias torrenciales que actualmente están generando daños y causando temor en los pobladores, esto me indica que los caudales se están subestimando y como consecuencia trae consigo un dimensionamiento inadecuado de las infraestructuras, esto se evidencia en lo mencionado anteriormente, que tanto el muro de contención fue destruido, asimismo el sistema del desagüe presento un colapso.

De modo que, indica que los caudales calculados en esta investigación ayudarán a un mejor dimensionamiento en cierta medida, ya que podrán ser comparados con otras metodologías y se podrá discernir entre el caudal correcto, ya que la metodología usada en este estudio los valores del caudal son elevadas y coherentes con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas.

CONCLUSIONES

El cálculo preciso de los caudales máximos especialmente en la subcuenca Blanco es de gran consideración para un correcto dimensionamiento de obras hidráulicas, pues un error en dicho procedimiento traería consigo daños a estructuras así como también ocasionan un perjuicio en la salud y vida de las personas que habitan dentro de la subcuenca.

El software Ilwis resulta ser un buen recurso para el manejo de información geográfica particularmente en el campo de la hidrología, para la delimitación de cuencas y obtención de los parámetros físicos de la misma. Esto porque a partir del ingreso de los modelos de elevación digital , el procedimiento en adelante es de una manera rápida y sencilla , atribuyéndole que permite la digitalización documentos cartográficos, que nos brinda las entidades competentes como ayuda para desarrollo de proyectos ingenieriles .

El área de la cuenca mediante el software Ilwis es 1564.244315 km² que es semejante al proporcionado por la autoridad nacional del agua (ANA) que es 1565.5 km²

Los caudales máximos obtenidos por el método racional modificado, usando las precipitaciones máximas fueron, para un periodo de retorno $T=2$ años es igual a 114.96 m³/seg, para $T=5$ años es 250.73 m³/seg, para $T=10$ años es 346.79 m³/seg, para $T=25$ es 470.66 m³/seg , para $T=50$ es 563.62 m³/seg ,para $T=100$ es 656.38 m³/seg, para $T=200$ es 748.5 m³/seg y para $T=500$ es 871.91 m³/seg. Estos valores para periodos de retorno pequeños se consideran un valor acertado pero a medida que el periodo de retorno aumenta los valores se van acrecentando.

Los caudales máximos obtenidos por el método racional modificado, usando las intensidades calculadas en la investigación fueron ,para un periodo de retorno $T=2$ años es igual a 141.61 m³/seg, para $T=5$ años es 268.18 m³/seg, para $T=10$ años es 356.94 m³/seg, para $T=25$ es 478.43 m³/seg , para $T=50$ es 577.28 m³/seg ,para $T=100$ es 684.13 m³/seg, para $T=200$ es 800.45 m³/seg y para $T=500$ es 971.47 m³/seg. Estos valores son mayores a los calculados por la primera forma de cálculo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer el uso de datos de precipitación, como mínimo de los últimos 30 años anteriores al realizado la investigación, pues al tener datos recientes nos ayudan a no excluir eventos que se están dando en la actualidad por los efectos el cambio climático, de la misma manera se exigen un número mínimo de datos para que los eventos extraordinarios ocurridos en el pasado no queden fuera del análisis, puesto que estos se dan de forma cíclica y podrían repetirse, causando muchos contratiempos.

En el momento de la georreferenciación es importante seleccionar puntos que se puedan identificar en la imagen satelital, después de ingresado las coordenadas de dichos puntos es crucial revisar que el valor del sigma sea menor que 0.5. Pues de esta manera se obtendrán una mejor precisión en los siguientes procedimientos y en los resultados finales.

Para indicar el punto donde comenzará la cuenca se debe acercar usando la herramienta zoom al lugar exacto, para evitar que el software ILWIS no delimite algunas áreas y esto provoque un error en el cálculo de las características físicas de la cuenca.

Para el cálculo del número de curva (CN), si se cuenta con el mapa de uso de tierras se debe hacer tomando en cuenta dicho mapa porque los valores del CN varían en relación a esto, es una buena opción usar el mapa de suelos de la subcuenca para la identificación del grupo hidrológico al cual pertenece.

Se recomienda realizar una nueva investigación donde se haga una comparación entre los caudales calculados por el método racional modificado y los caudales calculados por diferentes metodologías, esto permitirá que se tenga un panorama más amplio y decidir cuál es el más preciso debido a que si se usan valores elevados del caudal, conllevaría a un sobredimensionamiento de las estructuras hidráulicas y por tal un incremento en los costos de construcción y si por otra parte fueran valores pequeños, traerían consigo muchos daños en la estructura, así como también inconvenientes dentro de la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 52°North. (2019). *52°North – Applied Geoinformatics Research*. Obtenido de <https://52north.org/software/software-projects/ilwis/>
- Adaptado por Ordoñez. (2011). *The Encyclopedia of Earth*. Obtenido de www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle
- Andina. (27 de 05 de 2015). *Andina, Agencia Peruana de Noticias*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-refuerzan-defensas-riberenas-para-evitar-danos-huaca-las-ventanas-558120.aspx>
- Andrade, D. I. (2015). *CURSO DE HIDROLOGIA CAUDALES MÁXIMOS*. Madrid.
- Antequera Cochachin, M. R. (2014). *DETERMINACIÓN DE CAUDALES MAXIMOS APLICANDO LAS METODOLOGÍAS HIDROMETEREOLÓGICOS Y ESTADÍSTICOS EN LA SUB CUENCA DEL RIO QUILLCAY*. Huaraz.
- Aparicio Mijares, F. J. (1996). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Barbero García, I. (2014). *Estudio del comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca forestal*.
- Barranco Sanz, I., & Alvarez Rodriguez, J. (2009). *Cálculo del tiempo de concentración en hidrología con GRASS*. Cataluña.
- Benayas Polo, R. (s.f.). *iAgua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/rebeca-benayas-polo/sistemas-informacion-geografica-y-aplicaciones-hidrologia-0>
- Berlanga Silvente, V., & Rubio Hurtado, M. J. (2011). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *REIRE*, 3-4.
- Bravo, J. D. (2000). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Madrid: CIEMAT.
- Caballero Romero, A. (2008). *Metodología de la investigación científica*. Mexico : Lima .
- Cahuana Andia, A., & Yugar Morales, W. (2009). *MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CIV-233*. Cochabamba.
- Carballo Barcos, M. (2016). ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DE LAS VARIABLES EN LAS INVESTIGACIONES QUE SE DESARROLLAN EN EDUCACIÓN. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 1-3.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Coaquira Cueva, R. A. (2015). *ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES PARA DETERMINAR CAUDALES MÁXIMOS EN LA MICRO CUENCA MILLI MILLI - MOHO" (Tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, Puno.
- Cordova, P. (2012). *CONSTRUCCIÓN PUENTE ALTERNO HUANCAPATA-DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO-HUÁNUCO*. Huánuco.

- Cuevas Gomez, S. A. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTIA PICO PARA LA SUBCUENCA DEL DRENAJE S/N TRIBUTARIO DEL RÍO ACACIAS CON AYUDA DEL SOFTWARE ILWIS (Tesis de Pregrado)*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogota.
- Cuevas Gómez, S. A. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTIA PICO PARA LA SUBCUENCA DEL DRENAJE S/N TRIBUTARIO DEL RÍO ACACIAS CON AYUDA DEL SOFTWARE ILWIS(Tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, BOGOTA.
- EcuRed contributors. (5 de Agosto de 2019). *Distribuciones teóricas de probabilidad*. (EcuRed, Editor) Obtenido de https://www.ecured.cu/index.php?title=Distribuciones_te%C3%B3ricas_de_probabilidad&oldid=3489665
- Egoavil Flores, R. (2009). *ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA USAN.90 IMÁGENES DEL GOES 12 Y MODELAMIENTO EN HEC-HMS, EN LA CUENCA ALTA DEL HUALLAGA (Tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, Tingo Maria .
- Empresa constructora de Aragón, I. (01 de 09 de 2017). *IDECONSA*. Obtenido de <https://ideconsa.net/2017/09/01/ideconsa-especialistas-obras-hidraulicas/>
- (2005). *GENERACIÓN DE DESCARGAS MENSUALES EN SUBCUENCAS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA UTILIZANDO EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ*.
- Gonzalez Espinosa, F. M., & Ortegón Carreño, J. D. (2016). *CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GUAGUAQUI, DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, POR EL MÉTODO RACIONAL (Tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogota.
- Harriague Lavayén, D. L. (2010). *TUTORIAL DE USO DEL SIG ILWIS EN CUENCAS DEL DEPARTAMENTO DE POTOSÍ*. Potosí.
- Hengl, T. (2008). *spatial-analyst.net*. Obtenido de <http://spatial-analyst.net/ILWIS>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (sexta ed.). Mexico: Mac Graw Hill.
- ILWIS. (12 de 2018). Obtenido de http://ilwis.itc.utwente.nl/wiki/index.php/Main_Page
- Instituto Superior del Medio Ambiente. (2019). *ISM*. Obtenido de <http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/gis-aplicado-a-la-hidrologia>
- ITC. (09 de 03 de 2018). Obtenido de <https://www.itc.nl/ilwis/>
- Medina Días, G., & Matos Bustamante, R. (1999). *Universidad Agraria de la Selva*. Obtenido de <http://iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigacion/unas/unas8/unas8-05.htm>
- Monsalve, G. (2005). *Hidrología en la ingeniería*.

- Montealegre B., J. E. (1990). *TECNICAS ESTADISTICAS APLICADAS EN EL MANEJO DE DATOS HIDROLOGICOS Y METEOROLOGICOS*. Bogota.
- Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Guatemala.
- MTC. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones , Lima.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Olivera, J. (21 de 04 de 2014). *HidroInjng*. Obtenido de <http://www.hidrojing.com/el-calculo-de-caudal-de-avenida-en-espanametodo-racional-vs-temez-racional-modificado/>
- Ordoñez Galvez, J. J. (2011). *CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Paradas, J. (2019). *Geoinnova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/sig-aplicados-a-la-hidrologia/>
- Portuguez , M., & Verano , C. (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Apuntes de ciencia y sociedad*.
- Probabilidades y Estadística. (2017). Obtenido de <https://www.probabilidadesyestadistica.com/prueba-de-bondad-de-ajuste-chi-cuadrado/>
- Rojas Marmolejo, S. (2018). *CÁLCULO DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN ZONAS DE HUANCVELICA, JUNÍN Y AYACUCHO (Tesis de pregrado)*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *SGM*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>
- Soto, C. A. (2011). *Presupuestos Empresariales*. Ecoe Ediciones.
- Tamayo, T. (2007). *Proceso de la Investigacion cientifica* . Mexico : Limusa .
- Tarazona Santos, N. (2005). *GENERACIÓN DE DESCARGAS MENSUALES EN SUBCUENCAS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA UTILIZANDO EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ (Tesis de Pregrado)*. Lima.
- Universidad de Salamanca . (s.f.). *USAL*. Obtenido de <http://www.stig.usal.es/quehacemos.php>
- Vásquez V., A., Mejía M, A., Faustino M., J., Terán A., R., Vásquez R., I., Díaz R., J., . . . Alcántara R., J. (2016). *MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Lima.
- Villodas , R. (2008). *Hidrologia (Guía de Estudio)*.
- Villon, m. (2002). *Hidrologia*. lima.
- Villon, M. (2016). *Maximo Villon*. Obtenido de <http://maximovillon.blogspot.com/p/hidroesta.html>

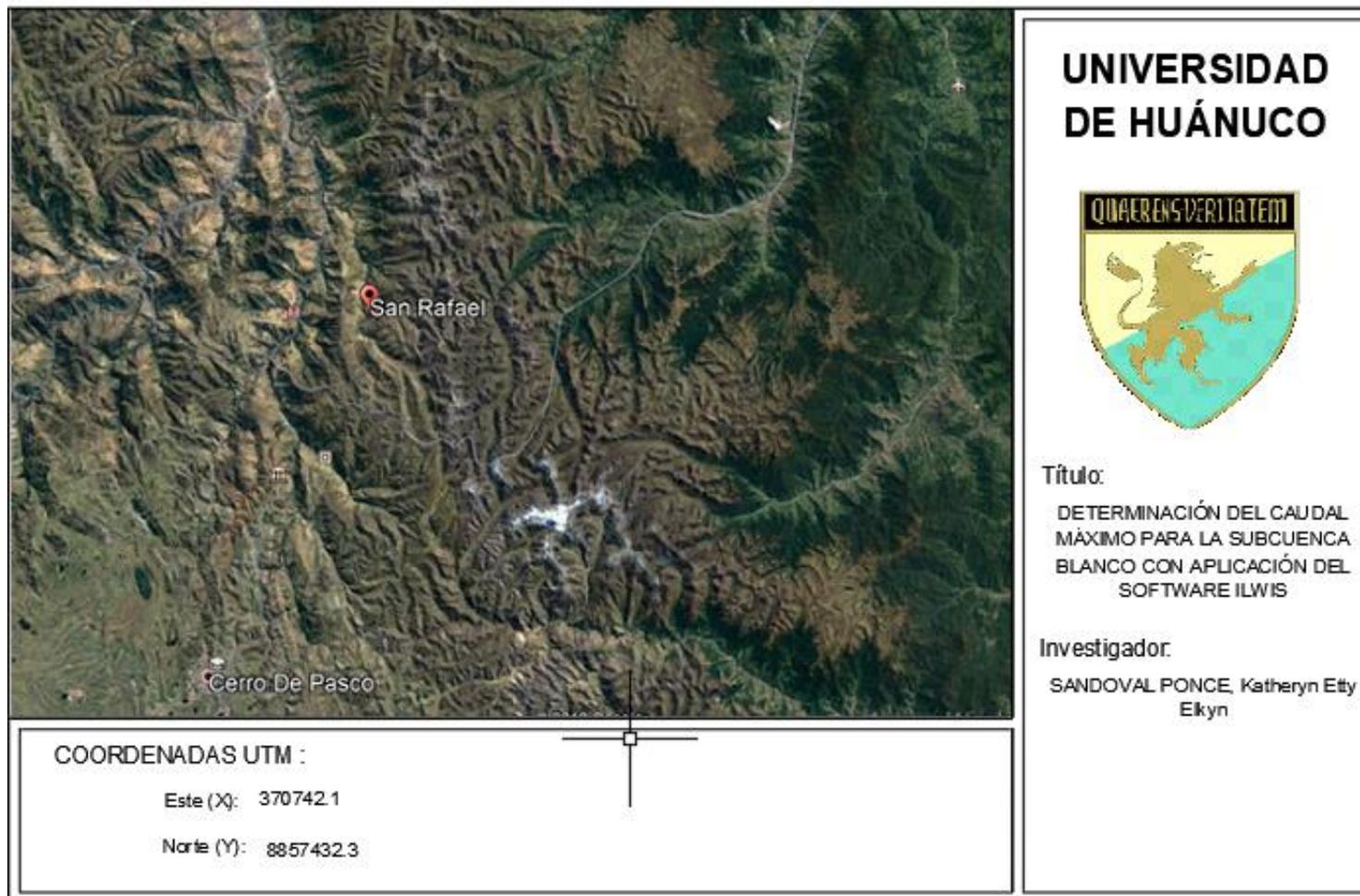
ANEXOS

Matriz de Consistencia

Título: “Determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020”

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el valor del caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p>	<p>ANTECEDENTES A nivel Internacional Cuevas, S. (2014) realizó la investigación: “Determinación de la escorrentía pico para la subcuenca del drenaje s/n tributario del río Acacias con ayuda del software ILWIS” Gonsalez, F. & Ortegon, J. (2016) “Cálculo del caudal de la cuenca hidrológica de la quebrada Guaguaqui, del departamento de Boyacá, por el método racional”</p>	<p>H0: La determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS no mejora el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p>	<p>Variable independiente: X_1: Caudal máximo con aplicación del Software ILWIS</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dato Hidrométrico • Geomorfología de la subcuenca • Uso de suelo • Hidrografía 	<p>Tipo de investigación: Cuantitativa</p> <p>Nivel de investigación: Correlacional</p> <p>Diseño de la investigación: no experimental</p> <p>Población y Muestra</p> <p>Población: todas las subcuencas de la cuenca del Huallaga.</p> <p>Muestra: subcuenca Blanco</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS ¿Qué información disponible contribuye a determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?</p> <p>¿Qué tipos y usos de suelo existe para determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?</p> <p>¿Cuál es la variación entre el valor del caudal máximo usado en las obras hidráulicas y el obtenido con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS Clasificar y emplear la información disponible que contribuyen a determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p> <p>Identificar los tipos y usos de suelo que existe para determinar el caudal máximo con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p> <p>Calcular la variación entre el valor del caudal máximo usado en las obras hidráulicas y el obtenido con aplicación del software ILWIS en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p>	<p>A nivel nacional Rojas, S. (2018) “Cálculo de precipitaciones y caudales de diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas de Huancavelica, Junín y Ayacucho” Coaquira, R. (2015) “Análisis de precipitaciones para determinar caudales máximos en la micro cuenca MILLI MILLI - MOHO”</p> <p>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal Máximo • Software ILWIS • Cuenca hidrográfica • Subcuenca blanco • Hidrología • Obras hidráulicas • Método racional modificado 	<p>H1: La determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS mejora el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo - Huánuco 2020.</p>	<p>Variable dependiente: Y_1: Dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redes de abastecimiento • Obras de drenaje • Defensas ribereñas 	<p>Técnica e instrumentos de recolección de datos. Técnicas Recolección, presentación, análisis e interpretación de datos.</p> <p>Instrumentos Fuentes de información - fuentes secundarias.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). • Descarga de imágenes satelitales. • DEM de la superficie de la subcuenca • Software ILWIS • Software Hydroesta • Google Earth • Hojas Excel • Expedientes Técnicos • Libros • Buscadores Académicos

Imagen satelital de la subcuenca Blanco



**UNIVERSIDAD
DE HUÁNUCO**



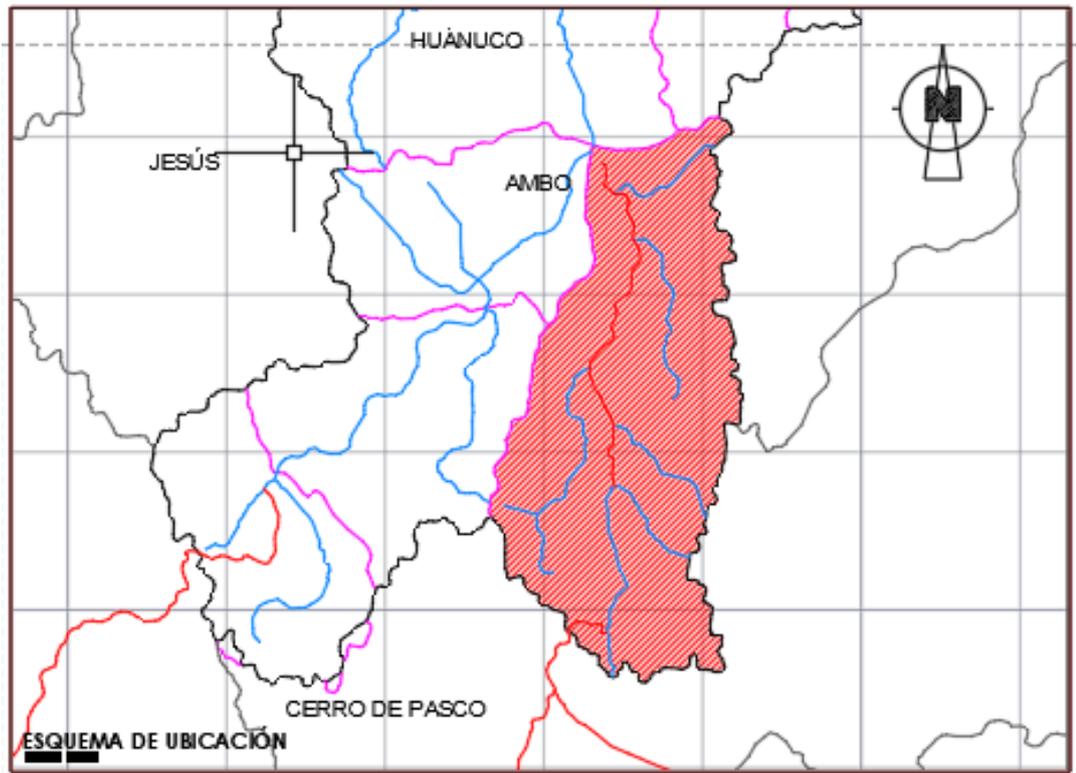
Título:

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL
MÁXIMO PARA LA SUBCUENCA
BLANCO CON APLICACIÓN DEL
SOFTWARE ILWIS

Investigador:

SANDOVAL PONCE, Kathryn Etty
Ekyn

Plano de Ubicación de la Subcuenca Blanco



Geomorfología de la subcuenca Blanco



Unidades Geomorfológicas

Cd	Conos deyectivos	Me	Montañas con laderas estructurales
Col	Colinas	Mf	Montaña con laderas de fuerte pendiente
Vg	Valle glaciar	Mg	Montañas con cobertura glaciar
		Mm	Montañas con laderas de moderada pendiente

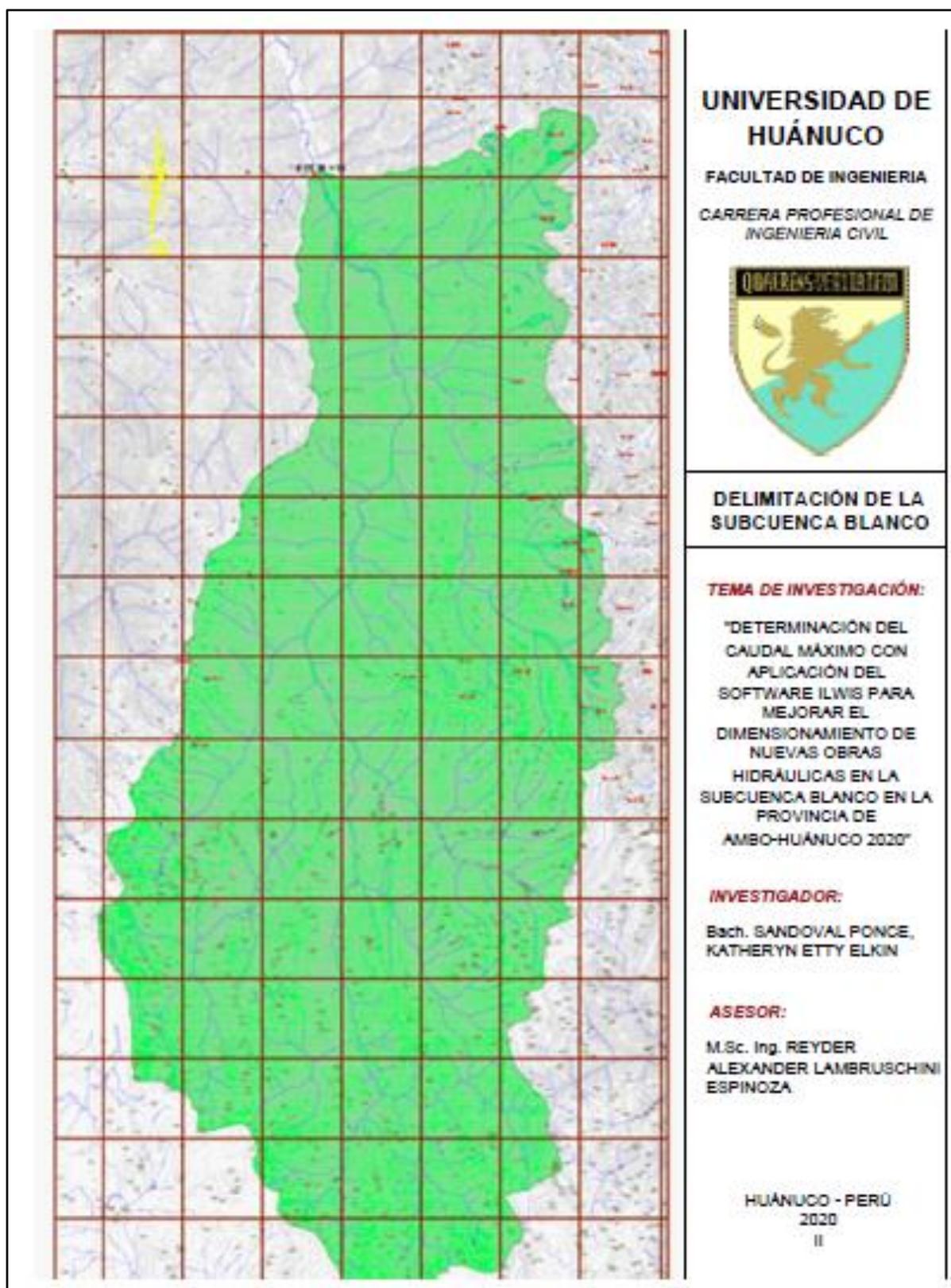
Fuente: (Autoridad Nacional del Agua , 2015)

Precipitación máxima de 24 horas estación San Rafael

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1987	X	98.8	173	100	22.6	6	X	X	11	10.7	6.8	30
1988	42.7	X	16	14.5	1.6	0	0	X	X	X	X	X
1989	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1990	16.6	13	18	90	0	0	4.1	0	1.5	10.7	6.8	5
1991	14	12	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1992	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6.4	8	7
1993	8	10	12.2	7	2	1	3.5	4.2	X	X	X	40
1994	68.3	119.7	136.5	73.3	4.5	0	35.5	0	38.4	18.2	70	61.6
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	23.8
2005	9.9	32	25.9	15.5	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	7.1	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	X	X	9.1	24.6	27	41.1
2014	18.5	16.9	25.7	10.4	8.9	2.7	0	3.4	33	3.5	9.2	11.2
2015	13.4	9.7	16.4	12.1	13.6	0.1	6.9	3.2	4.9	10.9	13.6	15.6
2016	X	X	12.5	21.3	9.1	1	1.9	1.2	4.7	14.3	10.7	28.2

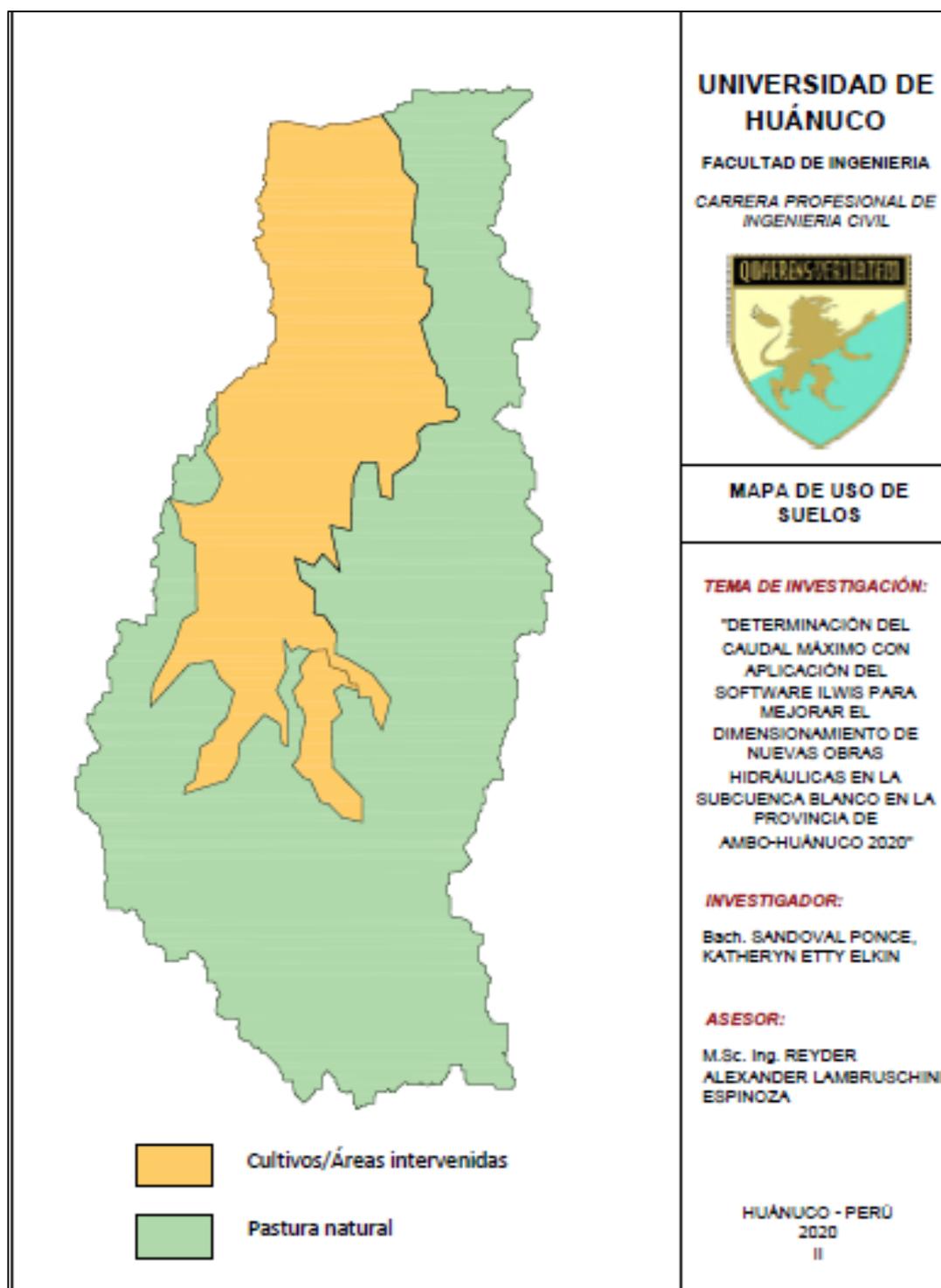
Fuente: (Autoridad Nacional del Agua , 2015)

Delimitación de la subcuenca blanco



Fuente: (Cordova, 2012)

Mapa de uso de suelos usado



Fuente: Propia

Resolución de Aprobación de Proyecto de Investigación

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería* RESOLUCIÓN N° 312-2020-CF-FI-UDH

Huánuco, 06 de Marzo de 2020

Visto, el Oficio N°155-2020-C-EAPIC-FI-UDH del Coordinador Académico de Ingeniería Civil, referente a **Katheryn Ety Elkyn, SANDOVAL PONCE**, del Programa Académico Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería, quien solicita Aprobación del Proyecto de Investigación;

CONSIDERANDO:

Que, según Resolución N° 560-99-CO-UH, de fecha 06.09.99, se aprueba el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería, vigente;

Que, según el Expediente 601-20, del Programa Académico de Ingeniería Civil, Informa que el Proyecto de Investigación Presentado por **Katheryn Ety Elkyn, SANDOVAL PONCE** ha sido aprobado, y

Que, según Oficio N°155-2020-C-EAPIC-FI-UDH, del Presidente de la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Informa que el recurrente ha cumplido con levantar las observaciones hechas por la Comisión de Grados y Títulos, respecto al Proyecto de Investigación; y

Estando a lo acordado por el Consejo de Facultad de fecha 06 de Marzo del 2020 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc.r);

SE RESUELVE:

Artículo Único. - **APROBAR**, el Proyecto de Investigación y su ejecución intitulado: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRAULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO – HUÁNUCO 2020" representado por **Katheryn Ety Elkyn, SANDOVAL PONCE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, ARCHÍVESE

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Mg. *[Signature]* **Jalcha Rojas**
SECRETARIO DOCENTE

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Mg. *[Signature]* **Bertha Campos Rios**
DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – CGT – Asesor – Exp. Graduando – Interesado - Archivo.
BCR/JJR.

Resolución de Designación de Jurado Revisor

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 113-2021-D-FI-UDH

Huánuco, 03 de febrero de 2021

Visto, el Of. N° 061-2021-C-PAIC-FI-UDH y el Exp. N° 3140 presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil, quien informa que el (la) Bach. **Katheryn Ety Elkyn, SANDOVAL PONCE**, solicita Revisión del informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO - HUÁNUCO 2021".

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Art. N° 38 y 39 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, es necesaria la revisión del Trabajo de Investigación (Tesis) por la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Huánuco; y,

Que, para tal efecto es necesario nombrar al jurado Revisor y/o evaluador, compuesta por tres miembros docentes de la Especialidad, y;

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

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- NOMBRAR, al Jurado Revisor que evaluará el informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO - HUÁNUCO 2021", presentado por el (la) Bach. **Katheryn Ety Elkyn, SANDOVAL PONCE**, del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, conformado por los siguientes docentes:

- Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas PRESIDENTE
- Mg. Martín César Valdivieso Echevarría SECRETARIO
- Mg. Lili Tatiana Boyanovich Ordoñez VOCAL

Artículo Segundo.- Los miembros del Jurado Revisor tienen un plazo de siete (07) días hábiles como máximo, para emitir el informe y opinión acerca del Trabajo de Investigación (Tesis).

REGISTRESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVASE,



Distribución:
C PAIC - Mat. y Reg. Acad.- Interesado- Jurado (03)- Archivo
BCR/PJR/ntb.

Informe de Aprobación del Trabajo de Investigación de Tesis por parte del Asesor



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"



INFORME N°007-2020-UDH-FI-/PAPIC-ING.RALE

A : MG. JOHNNY JACHA ROJAS
Coordinador de la Programa Académico Profesional de Ingeniería Civil – UDH

DE : M. SC. ING. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA
Docente Auxiliar de la Programa Académico Profesional de Ingeniería Civil – UDH

ASUNTO : REVISIÓN DE TESIS.

REFERENCIA : CUADERNO DE REGISTRO (24-09-2019).

FECHA : HUÁNUCO, 27 DE ENERO DEL 20201

Por medio del presente me dirijo a Ud. con la finalidad de saludarle muy cordialmente y a su vez informarle sobre la revisión efectuada al **INFORME FINAL DE TESIS** presentado por la Bach. SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN, en cumplimiento al ART. 19° del Reglamento General de Grados y Títulos, siendo:

I. ANTECEDENTES:

- 1.1. Con fecha 05 de enero del año en curso, el suscrito recepciona el Informe Final de Tesis, según documento de la referencia.

II. ANÁLISIS:

- 2.1. La evaluación del **Informe Final de Tesis**, se efectuó en mérito al Reglamento General de Grados y Títulos de la UDH – 2017

- **Tema:** "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO - HUÁNUCO 2021".
- **Elaborado por:** Bach. SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN
- **Asesor:** M. SC. ING. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA
- **Facultad:** Ingeniería
- **Programa:** Ingeniería Civil

- 2.2. Se llegó a las siguientes observaciones:

- De acuerdo al artículo 24 del Reglamento General de Grados y Títulos el Informe Final de Tesis se ha aprobado.

DOCENTE AUXILIAR DEL PROGRAMA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – MSC. ING. RALE



III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- 3.1. Se concluye; que el **Informe Final de Tesis**, presentado por la Bach. SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN, en cumplimiento al ART. 24° del Reglamento General de Grados y Títulos, siendo: **se encuentra aprobado**, por las razones expuestas en el **acápite II, inciso 2.2** del presente informe.
- 3.2. Se recomienda: notificar a la Bach. SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN, proseguir con el trámite administrativo según corresponda.
- 3.3. El Informe Final de Tesis: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN LA PROVINCIA DE AMBO - HUÁNUCO 2021" del alumno: SANDOVAL PONCE, KATHERYN ETTY ELKYN pasó satisfactoriamente la revisión por el Sistema Anti Plagio, con un porcentaje de autenticidad del **77%** y una coincidencia del **23%**.

Es cuando informo a Ud., para su conocimiento y demás fines pertinentes

Atentamente,

M. Sc. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza
Docente Auxiliar

Se Adjunta: Tesis de Investigación

C.c.
Archivo

DOCENTE AUXILIAR DEL PROGRAMA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – MSC. ING. RALE