

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE  
PRECIPITACIONES EN LA CUENCA CHICLLARAZO APLICANDO  
LA METODOLOGÍA PISCO VERSUS CONVENCIONAL”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. FANZO VERA EDWIN EDUARDO**

**Bach. JOYO PALOMINO KEVIN SAID**

**ASESOR: Dr. Ing. LÓPEZ SILVA MAIQUEL**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio.

Kevin Juyo Palomino

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso formación profesional.

Eduardo Fanzo Vera

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera; al ingeniero Eduardo Temoche; y a todas personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Eduardo Fanzo Vera y Kevin Joyo Palomino

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1.- Formulación y delimitación del problema.....	1
1.2.- Objetivo general y específicos .....	2
1.2.1.- Objetivo General.....	2
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	2
1.3.- Delimitación de la investigación .....	3
1.3.1.- Delimitación temporal .....	3
1.3.2.- Delimitación espacial.....	3
1.3.3.- Delimitación temática .....	4
1.4.- Justificación e importancia.....	4
1.4.1.- Justificación teórica .....	4
1.4.2.- Justificación práctica.....	5
1.4.3.- Justificación social .....	5
1.4.4.- Justificación metodológica.....	6
1.4.5.- Importancia .....	6
1.4.6.- Limitaciones.....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1.- Antecedentes del estudio de investigación.....	7
2.1.1.- Investigaciones Internacionales .....	7
2.1.2.- Investigaciones Nacionales .....	8
2.2.- Bases teóricas .....	10
2.2.1.- Recursos hídricos .....	10
2.2.2.- Cuencas hidrográficas .....	12
2.2.3.- Parámetros morfométricos .....	13
2.2.4.- Precipitaciones .....	19
2.2.5.- Métodos de mediciones.....	28
2.2.6.- Metodología convencional.....	31
2.2.7.- Metodología Pisco .....	32
2.2.8.- Modelo GR2M.....	32

2.2.9.- Avenidas máximas .....	33
2.3.- Definición de términos básicos .....	33
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
3.1.- Hipótesis .....	35
3.1.1.- Hipótesis principal .....	35
3.1.2.- Hipótesis secundarias .....	35
3.2.- Variables .....	35
3.2.1.- Definición conceptual de variables .....	36
3.2.2.- Operacionalización de variables .....	36
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1.- Tipo y nivel .....	37
4.2.- Diseño de la investigación .....	37
4.3.- Población y muestra .....	37
4.4.- Técnicas e instrumentos .....	38
4.4.1.- Tipos de técnicas e instrumentos .....	38
4.4.2.- Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	39
4.4.3.- Procedimientos para la recolección de datos .....	39
4.4.4.- Técnicas para el procesamiento y análisis de información .....	39
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
5.1.- Resultados .....	41
5.1.1.- Caracterización de la cuenca .....	41
5.1.2.- Característica de forma .....	43
5.1.3.- Modelo digital de elevación .....	45
5.1.4.- Modelo digital de elevación en formato ráster .....	46
5.1.5.- Raster fill .....	48
5.1.6.- Dirección de flujo .....	48
5.1.7.- Red de drenaje .....	49
5.2.- Método convencional .....	52
5.2.1.- Información básica disponible .....	52
5.2.2.- Método de Thiessen .....	53
5.2.3.- Pruebas de hipótesis de la muestra .....	57
5.2.4.- Funciones de distribución de probabilidades .....	60
5.2.5.- Prueba de ajuste de la serie de datos pluviométricos .....	71

5.2.6.- Selección del periodo de retorno.....	72
5.2.1.- Curvas de Intensidad -Duración - Frecuencia.....	73
5.2.2.- Hietogramas de diseño .....	76
5.2.3.- Resultados del software HEC-HMS para el método convencional .....	84
5.3.- Método Pisco .....	88
5.3.1.- Grillado de la zona de estudio.....	88
5.4.- Análisis de resultados .....	102
5.5.- Contrastación de hipótesis.....	106
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>113</b>
Anexo 1. Cronograma de Actividades.....	113
Anexo 2. Presupuesto .....	114
Anexo 3. Matriz de consistencia.....	115
Anexo 4. Matriz de Operacionalización de variables .....	116
Anexo 5. Histórico de Estaciones Meteorológicas .....	117
Anexo 6. Red de estaciones utilizadas a escala nacional para la elaboración de PISCO para el periodo 1981 - 2016.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca Cachi.....	3
Figura 2. Ciclo Hidrológico .....	11
Figura 3. Representación Esquemática del Ciclo Hidrológico .....	11
Figura 4. Impactos Acumulados de las Actividades Humanas en una Cuenca Hidrográfica .....	12
Figura 5. Estructura Jerárquica de la Cuenca Hidrográfica .....	13
Figura 6. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión .....	19
Figura 7. Precipitación de Convección .....	21
Figura 8. Precipitación Orográfica.....	22
Figura 9. Precipitación Ciclónica.....	23
Figura 10. Delimitación .....	24
Figura 11. Triangulación de Secciones .....	25
Figura 12. Secciones .....	25
Figura 13. Secciones Finales .....	26
Figura 14. Isoyetas .....	27
Figura 15. Secciones de las Isoyetas.....	28
Figura 16. Pluviómetro .....	29
Figura 17. Pluviógrafo .....	30
Figura 18. Pluviograma de Registro Cuando la Aguja Ascende .....	31
Figura 19. Estructura del Modelo GR2M .....	33
Figura 20. Topográfico de la Cuenca Chicllarazo .....	46
Figura 21. TIN Cuenca Chicllarazo .....	47
Figura 22 - Raster de toda la cuenca Cachi .....	48
Figura 23. Direcciones de Flujo.....	49
Figura 24. Red de Drenaje .....	50
Figura 25. Plano de la Cuenca Chicllarazo.....	51
Figura 26. Rango de precipitación de la cuenca Chicllarazo.....	56
Figura 27. Prueba de Independencia (Wald - Wolfowitz) .....	57
Figura 28. Prueba de Estacionariedad (Kendall) .....	58
Figura 29. Homogeneidad de Prueba a Escala Anual.....	59
Figura 30. Precipitación Max. 24h vs Probabilidad Empírica Weibull .....	59
Figura 31. Gumbel I (Máxima verosimilitud) .....	62

Figura 32 - Prueba Chi-Cuadrado Gumbel I.....	62
Figura 33. Log - Normal (Máxima verosimilitud).....	64
Figura 34. Prueba Chi - Cuadrado Log – Normal.....	64
Figura 35. Log - Normal III.....	66
Figura 36. Prueba Chi- Cuadrado Log Normal III.....	66
Figura 37. Gamma (Máxima verosimilitud).....	68
Figura 38. Prueba Chi - Cuadrado Gamma.....	68
Figura 39. Log-Pearson III (Método SAM).....	70
Figura 40. Prueba Chi-Cuadrado Log-Pearson III.....	70
Figura 41. Precipitaciones de Diseño .....	73
Figura 42. Curvas IDF .....	76
Figura 43. Hietograma de diseño de 500 años.....	78
Figura 44. Hietograma de diseño de 200 años.....	79
Figura 45. Hietograma de diseño de 100 años.....	81
Figura 46. Hietograma de diseño de 50 años.....	82
Figura 47. Hietograma de diseño de 25 años.....	84
Figura 48. Hietograma unitario de SCS.....	84
Figura 49. Resultado para 25 años de retorno .....	85
Figura 50. Corrido para 25 años de retorno .....	86
Figura 51. Resultado para 100 años de retorno .....	86
Figura 52. Corrido para 100 años de retorno .....	87
Figura 53. Grillado de la Zona de Estudio.....	88
Figura 54. Gráfico de precipitaciones en 24 horas .....	92
Figura 55. Curvas de intensidad duración y frecuencia.....	94
Figura 56. Hietograma tiempo de retorno de 500 años.....	96
Figura 57. Hietograma tiempo de retorno de 200 años.....	97
Figura 58. Hietograma tiempo de retorno de 100 años.....	99
Figura 59. Hietograma tiempo de retorno de 50 años.....	100
Figura 60. Hietograma tiempo de retorno de 25 años.....	101
Figura 61. Inicio de Precipitaciones para la Metodología Convencional .....	104
Figura 62. Inicio de Precipitaciones para la Metodología Pisco.....	105
Figura 63. Precipitaciones Máximas para la Metodología Convencional .....	105
Figura 64. Precipitaciones Máximas para la Metodología Pisco.....	106

Figura 65. Gráfico comparativo de caudales por ambas metodologías .....	108
Figura 66. Gráfico comparativo de intensidad por ambas metodologías .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores Interpretativos del Factor de Forma .....	16
Tabla 2. Forma de la Cuenca en Función al Índice de Compacidad .....	16
Tabla 3. Acceso a la zona de estudio .....	42
Tabla 4. Caracterización de la Cuenca.....	44
Tabla 5. Característica de Forma de la Cuenca .....	45
Tabla 6. Estaciones meteorológicas de la cuenca Chicllarazo – Jauccalla.....	52
Tabla 7. Datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la Cuenca Chicllarazo .....	54
Tabla 8. Parámetros Para los Datos Atípicos.....	55
Tabla 9. Valores Kn para la prueba de datos dudosos .....	56
Tabla 10. Función Distribución de Probabilidades Gumbel I .....	61
Tabla 11. Función de distribución de probabilidades Log-Normal .....	63
Tabla 12. Función de distribución de probabilidades Log-Normal III.....	65
Tabla 13. Función de distribución de Probabilidades – Gamma .....	67
Tabla 14. Función de Distribución de Probabilidades Log-Pearson III .....	69
Tabla 15. Función de distribución de probabilidades Teóricas .....	71
Tabla 16. Datos de intensidad.....	72
Tabla 17. Coeficientes de Duración de Lluvias entre 48 horas y una hora .....	74
Tabla 18. Precipitaciones en función de los periodos de retorno para la cuenca Chicllarazo .....	75
Tabla 19. Datos hietograma para 500 años.....	77
Tabla 20. Datos Hietograma para 200 años .....	78
Tabla 21. Datos Hietograma para 100 años .....	80
Tabla 22. Datos Hietograma para 50 años .....	81
Tabla 23. Datos Hietograma para 25 años.....	83
Tabla 24. Parámetros HEC-HMS de la subcuenca Chicllarazo.....	85
Tabla 25. Caudales para la subcuenca Jauccalla .....	87
Tabla 26. Precipitaciones en 24 horas .....	88
Tabla 27. Ajuste de datos para PISCO .....	90
Tabla 28. Valores Kn para la prueba de datos dudosos .....	91
Tabla 29. Precipitaciones en 24 horas por el método Dyck Peschke .....	93
Tabla 30. Datos Hietograma para 500 años .....	95

Tabla 31. Datos hietograma para 200 años.....	96
Tabla 32. Datos hietograma para 100 años.....	97
Tabla 33. Datos hietograma para 50 años.....	99
Tabla 34. Datos hietograma para 25 años.....	100
Tabla 35. Caudales para la subcuenca Jauccalla.....	102
Tabla 36. Resumen Datos de Precipitaciones Pisco y Convencional .....	103
Tabla 37. Tabla Resumen de Caudales por ambas metodologías.....	104

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal realizar el estudio comparativo de estandarización de precipitaciones en la cuenca Chicllarazo – subcuenca Jaucalla aplicando la metodología Pisco versus convencional, donde se obtuvo la data de precipitaciones mediante los softwares ArcGis y Rstudio para metodología Pisco y mediante la compra a la base de datos del SENAMHI para la metodología convencional.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje y la Nota técnica 001 – SENAMHI – DHI – 2017. Se empezó con la ubicación de la cuenca a estudiar en el Google Earth Pro, que viene a ser la cuenca Chicllarazo – subcuenca Jaucalla que pertenece a la cuenca del Río Cachi, posteriormente se hizo la delimitación de esta para la obtención de los parámetros geomorfológicos con ayuda del software ArcGis con el cual se hizo un cuadro resumen donde se detallaron todos los parámetros calculados.

Luego de delimitar la zona de estudio, se procedió a la obtención de los datos de precipitaciones para la metodología Pisco y para la metodología convencional, y luego se calculó los caudales para los diferentes periodos de retornos calculados y se obtuvieron los respectivos porcentajes de variancia entre estas.

Los principales resultados obtenidos fue la intensidad para la metodología convencional para los principales periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, los cuales fueron 52.754, 56.366 y 61.523 mm/hr respectivamente, con los cuales se obtuvo los siguientes caudales para los periodos de retorno mencionados, 28.437, 31.496, 35.705 m<sup>3</sup>/s, mientras que para metodología Pisco se obtuvo los siguientes resultados de intensidad para los principales periodos de retorno 100 años, 200 años, 500 años las cuales fueron 26.479, 28.877, 32.382 mm/hr respectivamente y los siguientes resultados de caudal 9.127, 11.330, 14.504 m<sup>3</sup>/s.

Finalmente, se concluye en que la metodología Pisco es poco confiable con respecto a la metodología convencional, puesto que la data de precipitaciones de la base de datos del SENAMHI no está actualizada hasta la fecha.

**Palabras clave:** Metodología Pisco, Metodología Convencional, parámetros geomorfológicos, periodo de retorno, caudal.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to carry out the comparative study of standardization of rainfall in the Chicllarazo basin - Jaucalla subbasin applying the Pisco versus conventional methodology, where the rainfall data was obtained using the ArcGis and Rstudio software for the Pisco methodology and by purchasing from the base of SENAMHI data for conventional methodology.

For the development of the research, the Hydrology, Hydraulics and Drainage Manual and Technical Note 001 - SENAMHI - DHI - 2017 were used. It began with the location of the basin to be studied in Google Earth Pro, which is the basin Chicllarazo - Jaucalla subbasin, which belongs to the River basin, was subsequently delimited to obtain the geomorphological parameters with the help of the ArcGis software with which a summary table was made detailing all the calculated parameters.

After delimiting the study area, we proceeded to obtain the rainfall data for the Pisco methodology and for the conventional methodology, to calculate the flows for the different periods of calculated returns and obtain the translated percentages of variance between them.

The main results obtained were the intensity for the conventional methodology for the main return periods of 100 years, 200 years, 500 years, which were 52.754, 56.366 y 61.523 mm/hr, respectively, with which the following flows were obtained for the periods of mentioned return, 28.437, 31.496, 35.705 m<sup>3</sup>/s, while for Pisco methodology the following intensity results were obtained for the main return periods 100 years, 200 years, 500 years which were 26.479, 28.877, 32.382 mm/hr respectively and the following flow results 9.127, 11.330, 14.504 m<sup>3</sup>/s.

Finally, it is concluded that the Pisco methodology is unreliable with respect to the conventional methodology, since the rainfall data of the SENAMHI database is not updated to date.

**Keywords:** Pisco Methodology, Conventional Methodology, geomorphological parameters, return period, flow.

# INTRODUCCIÓN

En los últimos años los recursos hídricos son cada vez más valorados y es por ello que surgen diversos proyectos para el mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos con el fin de beneficiar a la población con la construcción de diferentes obras hidráulicas es por ello que surge la discrepancia entre la metodología Pisco que viene a ser una metodología que se basa en datos de precipitaciones sobre un área delimitada y grillada a una equidistancia mínima de 5 km con el cual se obtiene datos más precisos en lugares alejados a las estaciones meteorológicas y la metodología convencional que viene a ser la metodología más confiable que se usa en la mayoría de proyectos.

Para combatir esta discrepancia se realizó un estudio comparativo de estandarización de precipitaciones aplicando la metodología Pisco y la metodología convencional con el fin de demostrar que metodología es más confiable y observar las deficiencias de ambas metodologías. Este estudio se empieza realizando la ubicación de la zona de estudio para así proceder a la delimitación y hacer el cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chicllarazo – subcuenca Jauccalla, posteriormente se procedió a extraer la data de precipitaciones para la metodología Pisco mediante los softwares ArcGis y Rstudio, mientras que para la metodología convencional se hizo la compra a la base de datos del SENAMHI de las estaciones meteorológicas para finalmente realizar los respectivos cálculos de caudal para los diferentes periodos de retorno con los cuales se hará el análisis para demostrar que metodología es más confiable.

En el Capítulo I se explica y se formula el problema general y los problemas específicos, la importancia y justificación de la investigación y finalmente se redacta el objetivo general y los objetivos específicos.

En el Capítulo II se expone el marco teórico que consta de las investigaciones relacionadas a nuestra investigación, las bases teóricas y la definición de los términos básicos.

En el Capítulo III se menciona la hipótesis general y las hipótesis específicas, la variable dependiente y la variable independiente.

En el Capítulo IV consta del tipo, nivel, diseño y población de la investigación, también se menciona las técnicas e instrumentos a usar en la investigación.

En el Capítulo V, se da a conocer los resultados obtenidos y los análisis de resultados para la metodología Pisco y la metodología convencional, con los cuales se hará los respectivos análisis entre ambas metodologías con el fin de obtener la metodología más confiable para la realización de diseños de obras hidráulicas.

Finalmente, se redacta las conclusiones, recomendaciones y referencia bibliográficas.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.- Formulación y delimitación del problema

Los recursos hídricos en los últimos años han sido más valorados dado que un sinnúmero de investigaciones en el área de la ingeniería, como también en la ecología, hidrología e hidráulica, buscan la correcta gestión de los recursos hídricos para la disponibilidad del agua potable y/o del sector de riego agrícola, es por ello que la distribución de los recursos hídricos es primordial para la sostenibilidad de la vida de los seres vivos.

Los recursos hídricos se subdividen en lagos y ríos. Los ríos son el escurrimiento superficial de una corriente de agua que fluye desde su nacimiento en cotas elevadas de una cuenca hasta llegar a la cota mínima de la cuenca, es por ello, que en esta investigación se presentará los tipos de cálculos para el caudal del río Chicllarazo, con la metodología Pisco y el método convencional para luego estos ser comparados con un caudal de aforo real “in-situ”.

En la actualidad nacional en el Perú se tiene problemas con la medición de precipitaciones en muchas áreas nacionales, debido a las escasas estaciones meteorológicas funcionales, es por ello que en los cálculos del caudal estos varíen debido a que se presentan diversas metodologías de ajustes de bondad para las precipitaciones.

Aybar (2017) sostiene que, “los pluviómetros ofrecen una acertada información acerca de la cantidad y la frecuencia de las lluvias. Sin embargo, no posibilitan una adecuada cobertura espacial (Almazroui, 2011; Chappell et al., 2013). La estimación de la distribución espacial de las precipitaciones en el Perú representa un gran desafío, considerando su compleja fisiografía y la baja densidad de estaciones pluviométricas sobre todo en la región amazónica (Mantas et al., 2015)”.

Lavado *et al* (2016), en su reporte afirman que “durante los últimos años diversos grupos de investigación en hidroclimatología a nivel mundial han trabajado con información satelital de precipitación para construir bases de datos con buena resolución espacial y temporal, siendo uno de ellos el producto CHIRPS (“Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data”) el cual tiene datos a escala global de precipitación con una resolución de 0.05° y funciona desde enero de 1981.

En este contexto, el SENAMHI a través de la Dirección de Hidrología ha comenzado a producir el producto PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations). PISCO, presentará una serie de datos hidroclimáticos a buena escala espacial (0.05) y nuestro objetivo es llegar a tener escalas temporales diarias y mensuales de las variables precipitaciones, temperatura máxima y mínima, evapotranspiración y caudales”.

A raíz de la falta de información para estudios hidrológicos e hidráulicos, nace la metodología PISCO, la cual nos brinda datos en zonas donde los pluviómetros no pueden abarcar, esta metodología se realiza mediante una base de datos grillada con el fin de proporcionar datos a una buena escala espacial. Con el uso de la metodología PISCO y con la metodología de los pluviómetros, se genera una discordancia debido a una variación de caudales entre estos métodos, es por ello que la problemática será calcular el caudal por ambas metodologías para realizar la comparación con un aforo real.

Por lo cual surge la pregunta ¿Cómo Realizar el estudio comparativo de estandarización de precipitaciones en la cuenca Chicllarazo aplicando la metodología PISCO versus convencional?

## 1.2.- Objetivo general y específicos

### 1.2.1.- Objetivo General

Realizar el estudio comparativo de estandarización de precipitaciones en la cuenca Chicllarazo aplicando la metodología PISCO versus convencional.

### 1.2.2.- Objetivos Específicos

- Obtener la diferencia de precipitaciones de Pisco y las estaciones meteorológicas nacionales.
- Calcular las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno.
- Comparar el caudal de escurrimiento en la cuenca Chicllarazo por el método pisco y el método convencional.

### 1.3.- Delimitación de la investigación

#### 1.3.1.- Delimitación temporal

Chaverri Diego (2017), sostiene que la delimitación temporal señala la extensión de tiempo que cubre el estudio, sea de meses o incluso años, de manera constante u observando intervalos de tiempo. Lo que se busca siempre es indicar con claridad el contexto geográfico e histórico en el cual queda circunscrito el trabajo de campo realizado en el proyecto de investigación

#### 1.3.2.- Delimitación espacial

Chaverri Diego (2017), sostiene que en la delimitación espacial se detalla el lugar, ya se trate de una investigación global, regional, nacional o local, incluso circunscrita a espacios institucionales.

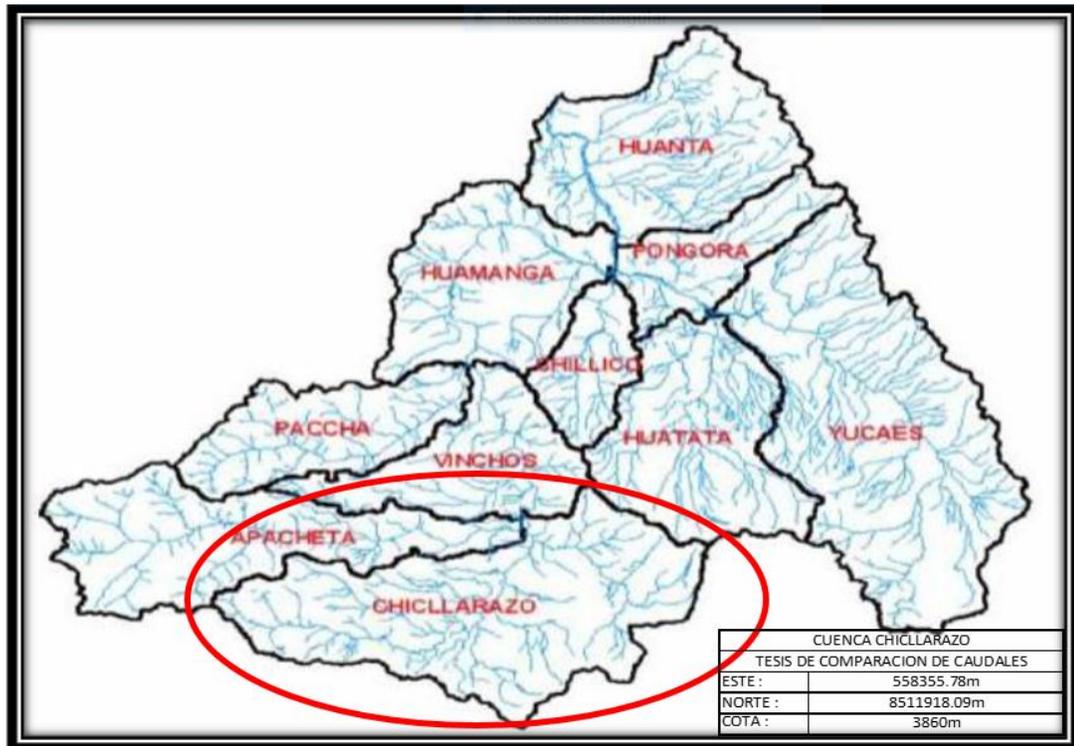


Figura 1. Cuenca Cachi

Fuente: Proyecto Integral Río Cachi, 1983

Este: 558355.78m

Norte: 8511918.09m

Cota: 3860m

Subcuenca Chicllarazo, cuenca Cachi, Ayacucho, Perú.

### 1.3.3.- Delimitación temática

La delimitación temática corresponde a la comparación de resultados obtenidos por la metodología PISCO y la metodología convencional, para así optar por el método más confiable o el que más se asemeje a los datos tomados in-situ para posibles diseños de obras hidráulicas que beneficien a la población.

Para la metodología PISCO, los datos de precipitaciones se obtuvieron de la base de datos del SENAMHI mediante el software Rstudio, mientras que para la metodología convencional se hizo la compra de datos de precipitaciones al SENAMHI, de las estaciones pluviométricas.

### 1.4.- Justificación e importancia

#### 1.4.1.- Justificación teórica

Aporte teórico: Se hace uso de la teoría convencional para el cálculo de caudal por las precipitaciones con la data del SENAMHI por medio de sus estaciones meteorológicas y la teoría PISCO por medio de la data de R-Studio por la interpolación de precipitaciones establecidas por la data del SENAMHI a nivel nacional.

Esta investigación busca brindar la comparación de los caudales calculados por la metodología pisco y la metodología convencional ajustados a un aforo real para calcular la discriminante, variación de caudal, para así definir cuál de las metodologías nos brinda un caudal que se asemeje más a la realidad. Así podremos tener caudales más apegados a la realidad para diferentes periodos de retorno para determinar las máximas avenidas para las diferentes obras hidráulicas.

Para la metodología Pisco, se usa la base de datos del SENAMHI para realizar la extracción de precipitaciones en el software R-studio, ya que este tiene un entorno desarrollado integrado para la extracción de datos en diferentes coordenadas de acuerdo a la calidad de grilla que se quiere obtener, desde los 0.05m hasta los 200m.

Para la metodología convencional se realiza la extracción de datos de las estaciones meteorológicas del Perú de acuerdo a la zona y se utilizará el método Thiessen para la separación de las áreas de acuerdo a la influencia de las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca.

#### 1.4.2.- Justificación práctica

**Aporte práctico:** Tiene como análisis para ver la variación de caudal que puede surgir por los diferentes métodos como el convencional y el método PISCO ajustado a un aforo en el lugar de la última vertiente de la Subcuenca Chicllarazo

En esta investigación se utiliza el software Arcgis para la delimitación geográfica y cálculos geomorfológicos de la cuenca Chicllarazo como la curva hipsométrica, el tiempo de retardo máximo, los parámetros de número de curva, modelos digitales de la cuenca.

Se realiza los cálculos en el Hec-hms, con un modelo digital ALOS PARSALL, para calcular la lluvia-escorrentía en esta cuenca de origen Chicllarazo y así obtener el flujo de base de los hidrogramas con los datos de la geomorfología calculada anteriormente, se extrajo los datos de precipitación de la base de datos del R-studio para la metodología Pisco y de las estaciones meteorológicas para el método convencional.

Finalmente, los caudales calculados son modelados en el software Iber para ver la variación de los diferentes caudales obtenidos con los diferentes métodos y así llegar a un cuadro comparativo de caudales ajustados a un caudal real.

#### 1.4.3.- Justificación social

Se brinda a la sociedad la información de caudales calibrados a los pobladores, lo cual servirá para posibles diseños de obras hidráulicas que beneficien a la población de la zona donde se realizará el estudio. La información brindada beneficia para que ellos puedan tener una dotación de agua de acuerdo a la oferta que presenta esta cuenca y así beneficiar al sector de riego agrario y ganadero de la localidad de Chicllarazo.

#### 1.4.4.- Justificación metodológica

Para esta investigación se hace la extracción de datos mediante tres métodos, para el método PISCO se hace mediante la base de datos del software R-studio, mientras que para el método convencional se hace mediante la compra de datos de precipitaciones al SENAMHI y finalmente se hace un aforo a la cuenca para poder hacer las comparaciones respectivas y obtener la discriminante.

#### 1.4.5.- Importancia

La importancia de la presente investigación, es brindar mediante un estudio comparativo de precipitaciones el método más viable o el que se asemeje más a la toma de datos mediante el aforo in situ, por otra parte, brindaremos información para la extracción de datos mediante el software R-studio.

La presente investigación tiene como importancia brindar a la sociedad datos de caudales y máximas avenidas para diferentes periodos de retorno, para así pronosticar los periodos lluviosos y pocos lluviosos, también se brinda la ayuda para realizar la extracción de datos mediante el software R-studio, la extracción de datos se hará paso a paso para incentivar el uso de la metodología Pisco, ya que esta metodología abarca zonas donde las estaciones meteorológicas no llegan, lo cual nos beneficia en los cálculos posteriores para así obtener un menor porcentaje de error.

Mediante la comparación que se hace en esta investigación se aporta datos exactos para posibles diseños de obras hidráulicas que benefician a los pobladores y agricultores de la zona de estudio. La metodología Pisco ayuda con la extracción de datos de zonas alejadas donde no abarca las estaciones meteorológicas con esto queremos fomentar la construcción de obras hidráulicas y lograr un mejor desarrollo en el Perú.

#### 1.4.6.- Limitaciones

La pandemia por COVID-19, dificulta la accesibilidad por la inmovilización social obligatoria, se tiene que obtener permisos para transitar; así mismo muchas poblaciones altoandinas por el temor al contagio de la enfermedad, han cerrado las diferentes vías de acceso a la cuenca en estudio.

Las limitaciones que se tiene en esta subcuenca como en otras del Perú es que estas no cuentan con estaciones meteorológicas, es por ello que en algunas de estas se realizan los cálculos con la metodología PISCO.

Con respecto a la extracción de datos por la metodología PISCO, se hace uso del software Rstudio, el cual no tiene datos hasta la actualidad, solo cuenta con datos desde el 1981 hasta el 2016.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1.- Antecedentes del estudio de investigación**

#### **2.1.1.- Investigaciones Internacionales**

Penot D. (2015), en su tesis “Mapeo de eventos hidrológicos extremos y estimación SCHADEX en sitios no calibrados” para obtener el grado de doctor en Océano, atmósfera e hidrología en la universidad Grenoble Alpes de Francia, donde el objetivo de su investigación es comparar los dos enfoques para la estimación de la precipitación espacial (polígonos de Thiessen y SPAZM) y ver las posibles diferencias para realizar mapeos frente a eventos hidrológicos extremos (inundaciones), donde llevó a la conclusión de que la corrección de la lluvia de Thiessen por un factor multiplicativo, con el fin de llevar su total anual al de SPAZM, está en el 80% de los casos justificada y no degrada no la estimación de extremos. Sin embargo, para muchas cuencas pequeñas, con poca información cercana, la corrección aplicada al volumen de la lluvia Thiessen no es adecuada para estimar los extremos. Esta tesis nos sirve para ser analíticos con los resultados luego de procesarlos, para así obtener la discordancia de la metodología Thiessen con las otras metodologías propuestas, sin embargo, esta tesis con respecto a la metodología Pisco el aporte es nulo, ya que solo hace un estudio comparativo a dos enfoques para la estimación de precipitaciones, que son los polígonos de Thiessen y SPAZM.

Díaz L. (2010), en su tesis “Mejoras en la disponibilidad de recursos en infraestructuras de información geoespacial” para obtener el grado de Doctor de la Universidad Jaime I en España, donde los objetivos fueron la mejora de la IIG para conectar a herramientas de procesamiento en forma de servicios estándar para ejecutar análisis y modelos, donde concluye en una propuesta de extensión con un componente ServiceFramework para ayudar a los usuarios de IGG, donde se hace uso del método Thiessen para la separación y limitación de secciones, sin embargo, con respecto al tema de nuestra investigación no tiene ningún aporte ya que no hace un enfoque a la hidrología.

Verdú J. (2003), en su tesis “Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo) para obtener el grado de Doctor de la Universidad de Lérida en España, donde el objetivo es la caracterización de la distribución y variabilidad de las precipitaciones en la cuenca del Isábena, tanto a nivel de subcuenca como de manera integrada en toda la cuenca para hacer un análisis a la respuesta hidrológica y fluvial de la cuenca en la montaña Pre-Pirineo y desarrollar metodologías de caracterización de la precipitación, en la que se concluye con una propuesta metodológica para la obtención de precipitación integradas por subcuenca, a partir de un dato puntual y un polinomio ajustado en base a un estudio previo de variabilidad espacial de precipitación en la subcuenca. Esta tesis nos sirve para usar el método Thiessen para la estimación de precipitaciones para la metodología convencional, sin embargo, no aporta nada con respecto a la metodología Pisco.

#### 2.1.2.- Investigaciones Nacionales

Chuquiruna M. (2020), en su tesis “Análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del río Cajamarquino” para optar el grado de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, donde el objetivo principal fue realizar el análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino, con el fin de

conocer que método es más eficiente para la estimación de precipitación media mensual, donde concluye en que el método Kriging nos permite obtener mejores resultados que Polígonos de Thiessen. Ya que Kriging presenta mayor confiabilidad en comparación con Thiessen y eso se debe a que Kriging considera la distribución espacial de las estaciones. Esta tesis nos sirve como guía para realizar la extracción de datos y los cálculos para la metodología convencional, ya que usaremos el método de los polígonos de Thiessen, sin embargo, esta tesis no aporta nada con respecto a la metodología Pisco, ya que hace comparación con la metodología Kriging.

Flores A. (2018), en su tesis “Estudio hidrológico con fines de aprovechamiento hídrico en la Microcuenca del río Shilcayo, ubicado en el distrito de la Banda de Shilcayo, Provincia de San Martín – región San Martín” para optar el grado de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, donde el objetivo general fue analizar y procesar la información hidrometeorológica de la microcuenca del río Shilcayo con la finalidad de determinar la oferta del recurso hídrico, así como el uso actual del agua, con fines de su aprovechamiento. Se concluye en que se logró conocer la disponibilidad hídrica, los parámetros geomorfológicos y la topografía de la Microcuenca del Río Shilcayo distrito de la Banda de Shilcayo – Provincia de San Martín, Región San Martín, para proyectos futuros con fines de mejorar la oferta hídrica. Esta tesis nos sirve para hacer el debido del método de los polígonos de Thiessen para la estimación de precipitaciones en nuestra cuenca de estudio, sin embargo, no hace ningún aporte con respecto a la metodología Pisco y a la extracción de datos mediante el software Rstudio.

Traverso (2018) En su tesis “Generación de caudales medios mensuales a partir de las características hidrológicas de la cuenca del río Huancané” para optar el grado de Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano, donde el objetivo general fue determinar un modelo matemático de precipitación - escorrentía para generar caudales medios mensuales, que se aproxime a los caudales observados y los caudales obtenidos a partir del

modelo estocástico Lutz Scholz, donde la información de precipitación se obtuvo con la metodología PISCO, en el cual se hizo uso de la nota técnica 001 elaborada por la Dirección Hidrológica – DHI de SENAMHI, donde la metodología fue experimental. Finalmente concluye que el modelo Lutz Scholz aplicado a la cuenca del río Huancané, es un modelo que se ajusta las condiciones del altiplano peruano no obstante este modelo de precipitación escorrentía es un modelo robusto y que necesita varios parámetros a considerarse para la estimación de caudales mensuales, lo que en parte hace compleja su aplicación. Esta tesis nos sirve para realizar la extracción de datos para la metodología Pisco, ya que el tesista recomienda el uso del producto Pisco porque es información gratuita y exacta, por otro lado, para el modelo Lutz Scholz, hace uso del método de los polígonos de Thiessen para la estimación de precipitación media mensual, la cual nos sirve como guía para nuestra investigación, sin embargo, no realiza la comparación de ambas metodologías.

## 2.2.- Bases teóricas

### 2.2.1.- Recursos hídricos

Rocha A. (1993), en su programa de actualización, hace énfasis en la importancia de los recursos hidráulicos, especialmente al agua. Señala que el agua está presente a la largo de toda la vida de cada ser humano, al cual se le puede dar diferentes tipos de uso, ya sea domésticos, agrícolas, agropecuarios, comerciales e industriales.

Con respecto al ciclo hidrológico, hace énfasis al agua en la superficie terrestre, donde le da importancia a la fuerza que viene del sol, de la gravedad y del movimiento de la tierra, con los cuales se hace posible el ciclo hidrológico. Sin embargo, menciona que solo una pequeña parte de la cantidad total de agua existente en la Tierra participa del ciclo hidrológico.

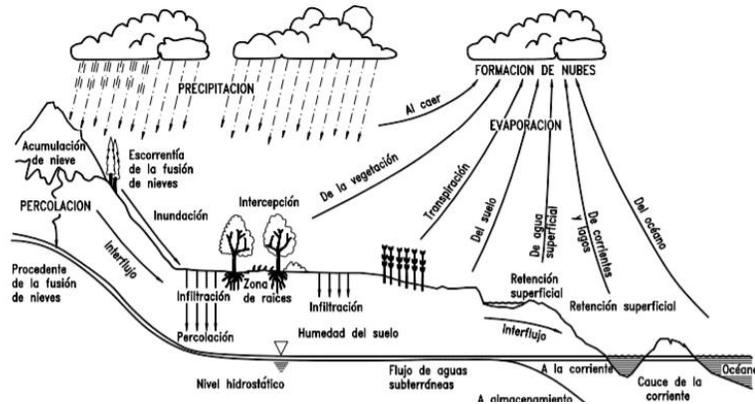


Figura 2. Ciclo Hidrológico

Fuente: Recursos Hidráulicos, 1993.

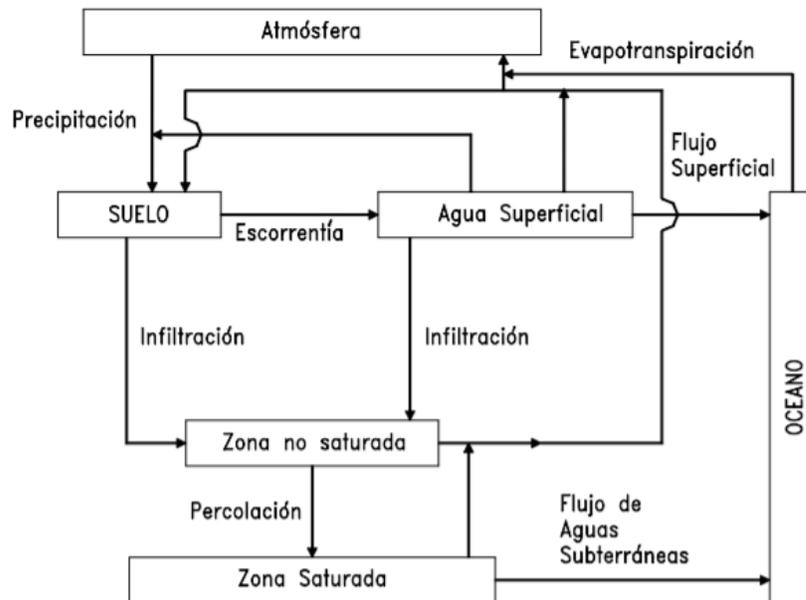


Figura 3. Representación Esquemática del Ciclo Hidrológico

Fuente: Recursos Hidráulicos, 1993.

### 2.2.2.- Cuencas hidrográficas

Cotler H., Galindo A., González I., Pineda R., y Ríos E. (2013), en el libro “Cuenca Hidrográficas”, con respecto a las cuencas hidrográficas, mencionan que “las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas<sup>2</sup> (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes)”. (p.7)

“Las cuencas hidrográficas además de ser unidades funcionales<sup>6</sup>, tener límites bien definidos y salidas puntuales, están estructuradas jerárquicamente, ya que pueden subdividirse en subcuencas, delimitadas también por un parteaguas y donde se concentran los escurrimientos que desembocan en el curso principal del río”. (p.8)



Figura 4. Impactos Acumulados de las Actividades Humanas en una Cuenca Hidrográfica

Fuente: Cuencas Hidrográficas, 2013

En este mismo libro se hace énfasis a las zonas funcionales de la cuenca, donde se divide en tres zonas, la zona de captación, que es la parte que está aledaña a la divisoria de agua, la zona de almacenamiento, que es la zona de transición entra la cuenca alta y la cuenca baja, y finalmente la zona de descarga, que es la zona donde el río principal desemboca en el mar o un lago.

Por otra parte, se menciona a la estructura jerárquica de la cuenca hidrográfica, en donde se empieza por la cuenca principal en donde desemboca la subcuenca, posterior a ellos viene las subcuencas las cuales captan el caudal de las microcuencas para desembocar en la cuenca principal y finalmente las microcuencas que vendrían a ser cuencas de menor tamaño que sirven de captación para llevar el flujo de agua a las subcuencas.

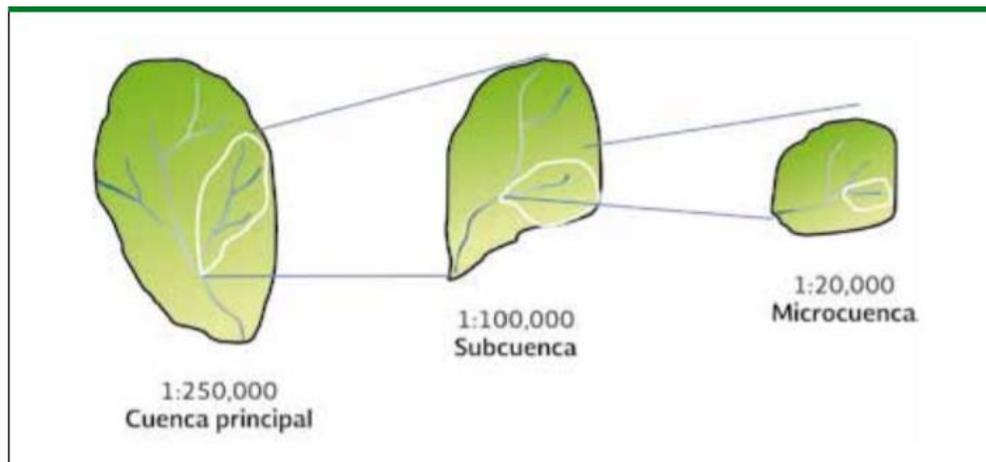


Figura 5. Estructura Jerárquica de la Cuenca Hidrográfica

Fuente: Cuencas Hidrográficas, 2013

En esta investigación se estudia a una cuenca hidrográfica específica del Perú que es la cuenca Chicllarazo, el cual se deriva al embalse Cucho Qesera para que abastezca de agua a las centrales hidroeléctricas Lambas y Yucrapampa, por otra parte, servirá para el abastecimiento de agua a la ciudad de Ayacucho y abastecimiento de agua para riego a la zona de Chiara-Carimayo.

### 2.2.3.- Parámetros morfométricos

Lux B., (2016) menciona que:

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros Morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control. (p.2)

Gaspari como se citó en Lux, (2016) afirma:

El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. (p.2)

Los parámetros morfométricos de la cuenca será las características que presenta nuestra cuenca de estudio en las distintas fases que se puede encontrar, como también las abstracciones que esta puede presentar y las características geográficas como las cotas máximas y mínimas que se pueden encontrar en dicha cuenca y de acuerdo a ello obtener el tiempo de concentración. Entre estas tenemos los siguientes parámetros morfológicos:

#### Área (A)

La cual corresponde a toda la sección delimitada por la divisoria de aguas, la unidad de este parámetro es el  $\text{km}^2$ . Este valor se puede calcular mediante el software Arcgis, en donde se insertan los datos de la zona de estudio.

#### Perímetro (P)

Es la longitud lineal de todo el borde la cuenca de estudio, la unidad para expresar este parámetro morfológico es km o m. Este parámetro se puede calcular con la ayuda del software Arcgis.

#### Longitud de la Cuenca (L)

Según Lux B. (2016), “la longitud de la cuenca 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”. (p.3)

Ancho de la cuenca (B)

Este parámetro vendría a ser la relación entre el área de cuenca y la longitud de la cuenca.

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

Donde:

A, es el área de la cuenca de estudio

L, es la longitud de la cuenca

Factor de forma de Horton (Kf)

Este parámetro se define como la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Este parámetro busca medir cuan cuadrada puede ser una cuenca, cuando el factor de forma es bajo, esta esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y factor de forma mayor.

Lux B. (2016), afirma:

Los principales factores geológicos son los que se encargan de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas. Cuando el valor de Kf es superior a la unidad nos proporciona el grado achatamiento de un río o una cuenca hidrográfica y por consecuencia concentra el escurrimiento de las precipitaciones formando fácilmente grandes crecidas. (p.3)

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

Donde:

A, es el área de la cuenca de estudio.

L, es la longitud de la cuenca.

La cual nos brinda una tabla de valores interpretativos del factor de forma.

Tabla 1. Valores Interpretativos del Factor de Forma

Valores	Forma de la Cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.300	Alargada
0.300 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.475	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Elaboración propia adaptada de Horton, 1932

Coefficiente de compacidad ( $k_c$ )

Según Lux B. (2016), “este parámetro morfológico fue propuesto por Gravelius, donde compara la forma de la cuenca con la forma de una circunferencia, cuyo círculo tiene la misma área de la cuenca de estudio” (p.4). Este parámetro se calcula con la siguiente expresión:

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$$

Donde “P” es el perímetro de la cuenca de estudio y “Pc” es el perímetro de la circunferencia.

Por otro lado, este parámetro nos brinda una tabla de formas de la cuenca en función al índice de compacidad

Tabla 2. Forma de la Cuenca en Función al Índice de Compacidad

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval – redonda

Clase II	1.26 a 1.50	Oval – Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval – Oblonga a rectangular – Oblonga

---

Fuente: Elaboración propia adaptada de Guevara & Cartaya, 1991

#### Razón de elongación (Re)

Según Lux B. (2016), menciona que “este parámetro morfológico está definido por la relación entre el diámetro de una circunferencia de igual área que la cuenca de estudio con la longitud máxima de la cuenca de estudio, la fórmula fue propuesta por Shumm en el 1956”. (p.5):

$$Re = \frac{D}{Lc} = \frac{1.1284\sqrt{Ac}}{Lc}$$

Donde “D” es el diámetro del círculo de igual área que la cuenca de estudio y “Lc” es la longitud máxima de la cuenca de estudio.

#### Pendiente media de la cuenca

Lux B. (2016), afirma que “este parámetro es uno de los principales que caracteriza el relieve de la cuenca y permite realizar comparaciones con otras cuencas” (p.5), se calcula con la siguiente expresión:

$$J = 100 \times \frac{(\sum Li) (E)}{A}$$

Donde “Li” es la sumatoria de las longitudes de las curvas de nivel, “E” es la equidistancia entre curvas de nivel y “A” es el área de la cuenca.

#### Relación de bifurcación (Rb)

Lux B. (2016), afirma que “este parámetro morfológico fue propuesto por Horton, en el cual define el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de cauce de un orden” (p.6), está dado por la siguiente expresión:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde “Nu” es el número de cauces de un orden dado y “Nu+1” es el número de cauces del orden inmediatamente superior.

#### Tiempo de concentración

Según Lux B. (2016), es el “Tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida” (p.6), está dado por la siguiente expresión:

$$tc = \frac{(4\sqrt{S} + 1.5L)}{(0.8\sqrt{H})}$$

Donde “S” es el área de la cuenca de estudio, “L” es la longitud del cauce principal y “H” es la elevación media de la cuenca de estudio.

#### Curva Hipsométrica

Según Lux B. (2016), la curva hipsométrica nos “permitirá caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE 1:50,000 y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota” (p.5).

#### Análisis hipsométricos

Lux B. (2016), menciona que:

Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos en 1999 que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, podremos

determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca (p.5)

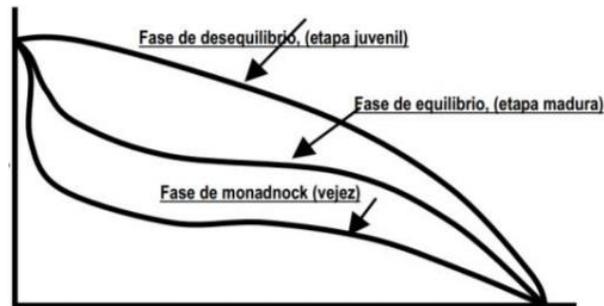


Figura 6. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión

Fuente: Senciales y Ferre, 1999

#### 2.2.4.- Precipitaciones

Rocha A. (1993), en su programa de actualización, menciona que la precipitación es la caída de agua contenida en la atmósfera en forma líquida como lluvia o en otras formas como el granizo o nieve. Por otra parte, menciona que la precipitación es una de las manifestaciones del ciclo hidrológico y por ello es una fuente de agua de excelencia, de la cual se genera la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea.

La precipitación normalmente tiene marcada una distribución espacial, donde se observa que hay lugares donde llueve constantemente y otras donde las precipitaciones son esporádicas, también hay épocas del año donde las precipitaciones son más frecuentes y otras épocas donde las precipitaciones son escasas.

Villón M. (2002), menciona que:

La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser de forma:

- Lluvias
- Granizadas
- Garúas

- Nevadas

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua. (p.69)

#### Origen de la precipitación

Villón M. (2002), afirma que:

Una nube está constituida por pequeñísimas gotas de agua, que se mantienen estables gracias a su pequeño tamaño, algunas características de las gotitas de las nubes son:

- Diámetro aproximado de las gotitas 0.02mm
- Espaciamiento entre gotitas 1 mm
- Mas 0.5 a 1 gr/mm<sup>3</sup>

Por el contrario, las gotas de lluvia, tienen un diámetro de 0.5 a 2mm, es decir, un aumento en el volumen de las gotitas de las nubes, de 100000 a 1000000 de veces.

En este sorprendente aumento, está el origen de las precipitaciones y se asume principalmente gracias a dos fenómenos:

- Unión entre sí de numerosas gotitas
- Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación de otras. (p.70)

#### Clasificación de precipitación

Villón M. (2002), menciona que:

La formación de la precipitación, requiere la elevación de una más de agua en la atmosfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Atendiendo al factor que provoca la elevación del aire en la atmosfera, la precipitación se clasifica en:

#### Precipitación de convección

En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que, por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seco ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ), o saturado ( $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ).

Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados células de convección. A partir de este punto, estas masas pueden seguir elevándose hasta llegar a grandes alturas, donde encuentran condiciones que provocan la condensación y la precipitación. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos. Son precipitaciones propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es calmo y hay una predominancia de movimiento vertical del aire. (p.71)

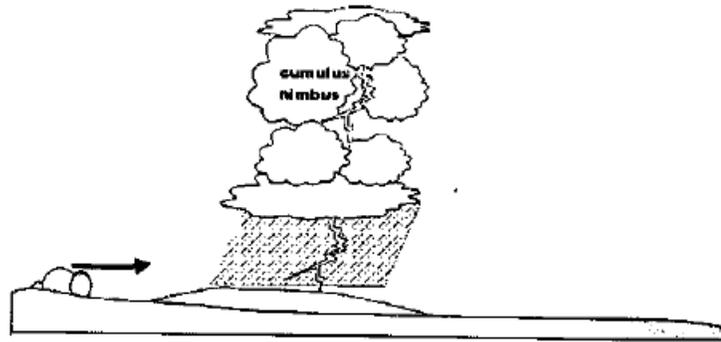


Figura 7. Precipitación de Convección

Fuente: Hidrología, 2002

## Precipitación orográfica

Villón M. (2002), menciona que:

Se producen cuando el vapor de agua se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. (p.72)

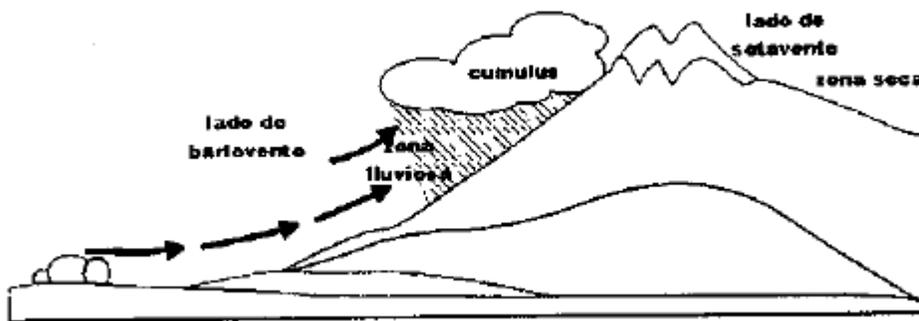


Figura 8. Precipitación Orográfica

Fuente: Hidrología, 2002

## Precipitación ciclónica

Villón M. (2002), menciona que:

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión.

Todas estas formas de originarse las lluvias, en la naturaleza se presentan combinadas, de modo que una lluvia determinada puede provenir de cualquiera de las formas o de la combinación de ellas. (p.72)

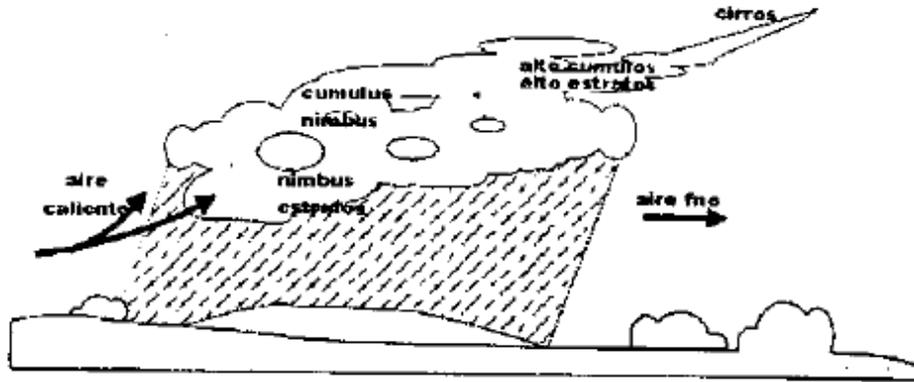


Figura 9. Precipitación Ciclónica

Fuente: Hidrología, 2002

Método aritmético

Donde la precipitación media se calcula con la siguiente expresión

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

Donde  $P_i$  es la precipitación puntual en la estación "i" y "n" es el número de estaciones dentro de los límites de la cuenca de estudio. Como se puede observar en la fórmula anterior, la precipitación media vendría a ser el promedio de las precipitaciones registradas en las diferentes estaciones consideradas dentro de la cuenca de estudio.

## Método de los polígonos de Thiessen

Donde consiste en que, para evaluar las precipitaciones dentro de un área determinada, se puede realizar mediante el uso de la posición de los pluviómetros con respecto al área, si se tiene un solo pluviómetro en la zona de estudio, el área de la cuenca de estudio vendría a estar representado por dicho pluviómetro. Sea una cuenca de área A en la cual se encuentran alrededor de ella una cierta cantidad de pluviómetros y en cada uno de ellos registra una cantidad de lluvia acumulada “ $P_i$ ”. El método de los polígonos de Thiessen trata de evaluar qué área de la cuenca pertenece a cada pluviómetro y la influencia en ella, para así establecer una correspondencia de cada parte de la cuenca de estudio con un pluviómetro específico.

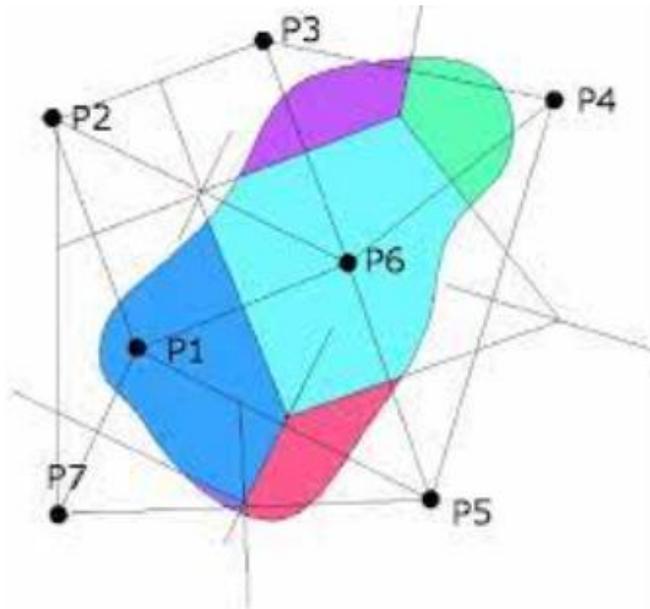


Figura 10. Delimitación

Fuente: Ingeniería civil – tutoriales al día

Se empieza trazando líneas rectas entre estaciones contiguas de tal forma que no haya líneas interceptadas, en otras palabras, formar triángulos

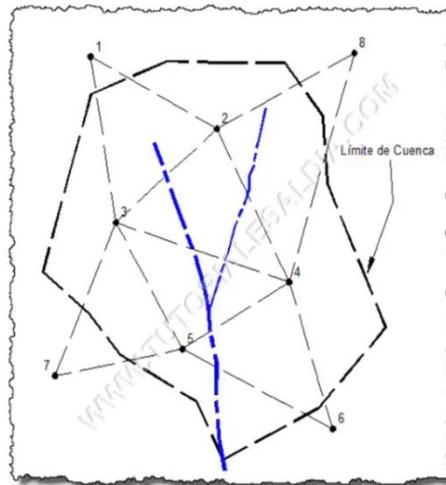


Figura 11. Triangulación de Secciones

Fuente: Ingeniería civil – tutoriales al día

Posteriormente, cada una de las líneas se trazarán mediatrices perpendiculares, las cuales se prolongarán hasta que corten con otras mediatrices vecinas

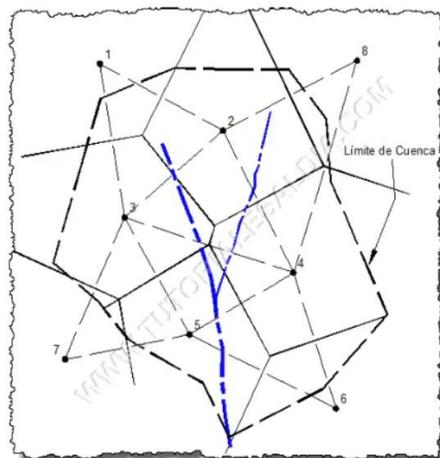


Figura 12. Secciones

Fuente: Ingeniería civil – tutoriales al día

Los puntos de cruce o intersección entre las mediatrices representan los puntos del polígono, cuya superficie constituye el área de influencia de la estación que queda dentro del polígono.

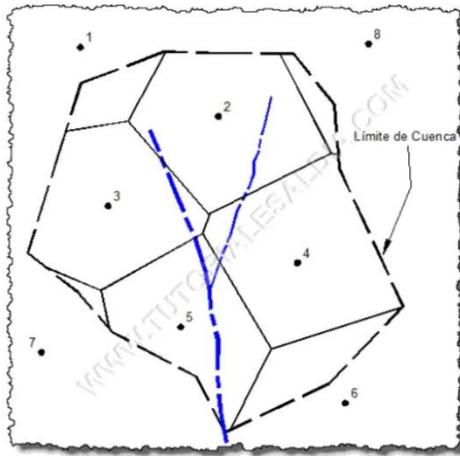


Figura 13. Secciones Finales

Fuente: Ingeniería civil – tutoriales al día

Finalmente, el área de cada uno de los polígonos se calcula mediante el software Arcgis, para poder realizar el cálculo de la precipitación media sobre la cuenca de estudio se usa la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Donde “Pi” es la precipitación puntual en la estación i y n el número de estaciones dentro de los límites de la cuenca de estudio y “Ai” es el área de cada polígono creado con la triangulación.

## Método de las Isoyetas

Villón M. (2002), menciona que:

Para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas. (p.80)

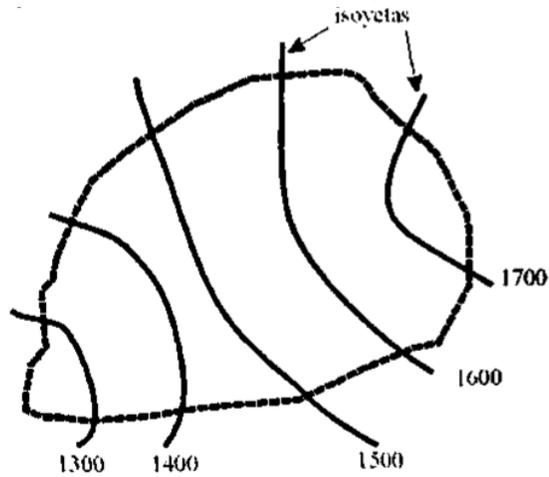


Figura 14. Isoyetas

Fuente: Hidrología, 2002

Sobre la base de los valores puntuales de precipitación en cada estación, como los que se ven enmarcados en la figura 15, se construyen, por interpolación, líneas de igual precipitación

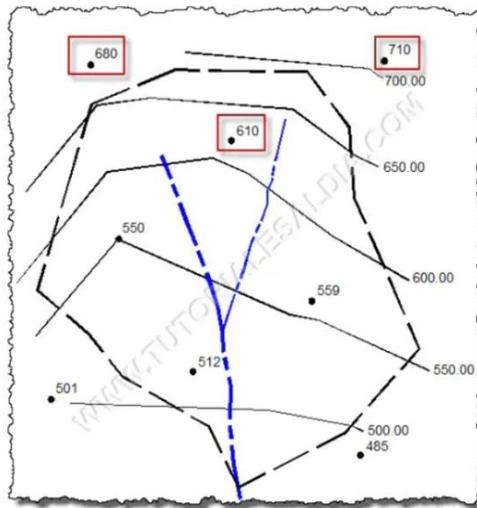


Figura 15. Secciones de las Isoyetas

Fuente: Ingeniería civil – tutoriales al día

Las líneas constituidas son conocidas como Isoyetas. Una vez conocida las Isoyetas es necesario calcular el área entre ellas para proceder a realizar el cálculo de la precipitación media en la cuenca de estudio se usa la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m \left[ \frac{P_j + P_{j+1}}{2} \right] \cdot A_j}{\sum_{j=1}^m A_j}$$

Donde, “P<sub>j</sub>” vendría a ser el valor de precipitación de la isoyeta “j”, “A<sub>j</sub>” vendría a ser el área incluida entre dos isoyetas consecutivas (j y j+1) y “m” vendría a ser el número total de isoyetas.

#### 2.2.5.- Métodos de mediciones

Villón M. (2002), menciona que:

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura de agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la

precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición, se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo a los registros de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. (p.73)

### Pluviómetro

Villón M. (2002), afirma que:

Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20cm de diámetro y de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la de la tapa.

Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta décimos de milímetros, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 hrs. (p.74)

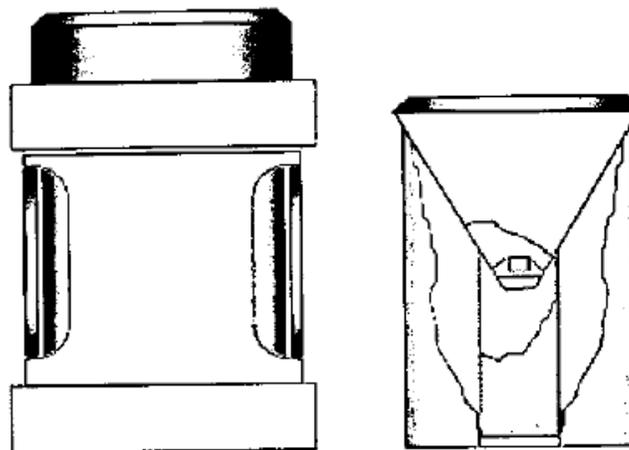


Figura 16. Pluviómetro

Fuente: Hidrología, 2002

## Pluviógrafos

Villón M. (2002), afirma que:

Es un instrumento, que registra la altura de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas.

Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre el papel registrador, montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de riesgo, una vez que la aguja llega al borde superior, automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma. (p.75).

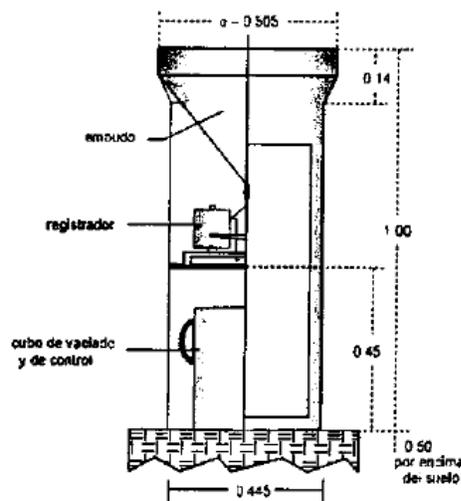


Figura 17. Pluviógrafo

Fuente: Hidrología, 2002

Los métodos de mediciones para la lluvia más usado son los pluviómetros, estos medirán en las unidades de milímetro por metro cuadrado ( $\text{mm}/\text{m}^2$ ).

Los pluviómetros que mide la cantidad de agua caída expresada en milímetro por metro cuadrado ( $\text{mm}/\text{m}^2$ ), se subdividen en: pluviómetro manual, totalizadores y de sifón. El manual es un recipiente de plástico cilíndrico que al ser llenada mide la precipitación en milímetros. Los totalizadores tienen la forma de un embudo que mejora la captación del agua en un embace graduado, este instrumento se coloca a una altura estimada del suelo y un operador medirá la caída del agua cada doce horas, este pluviómetro no es aceptable debido a que no se pueden definir las horas aproximadas que llovió, es por ello que utilizamos los pluviómetros de sifón o de doble cubeta basculante.

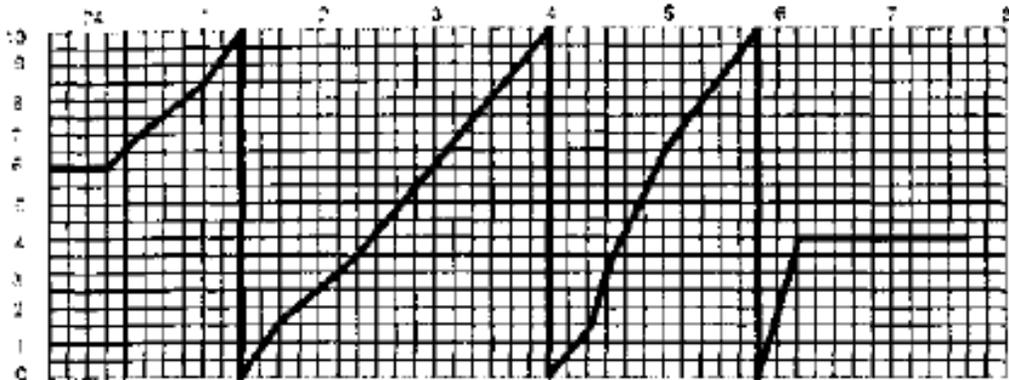


Figura 18. Pluviograma de Registro Cuando la Aguja Ascende

Fuente: Hidrología, 2002

#### 2.2.6.- Metodología convencional

Inicialmente se usa las estaciones meteorológicas para obtener los datos de precipitaciones, luego de obtener los datos de precipitaciones para esta metodología, estos pasa por un ajuste de bondad con el software hidroesta para no tener ningún punto crítico o información que distorsione la curva de las precipitaciones, posteriormente se realiza una distribución de áreas la zona de estudio por el Método de polígono de Thiessen de acuerdo a la cantidad de estaciones que involucre el terreno, para así obtener la influencia de cada estación en una área determinada, luego se calcula los caudales por los diferentes métodos de la hidrología para luego obtener los escurrimientos superficial, subsuperficial y subterráneo.

### 2.2.7.- Metodología Pisco

Según Aybar et al. (como se citó en Traverso, 2018), El producto PISCO fue generado en el marco de la Meta de Desarrollo de Investigación Aplicada para la Gestión de Riesgo de Desastres – PREVAED que ejecuta la Dirección de Hidrología del SENAMHI; y la autoría del mismo corresponde al Grupo de Investigación que lidera el Dr. Waldo Lavado Casimiro.

Se realiza la extracción de datos de precipitaciones meteorológicas en el software R-studio para luego delimitarlas en el Arcgis y así tener el punto grillado dentro de toda el área de la cuenca y obtener las precipitaciones máximas en 24 horas de dicha cuenca, a esta también pasa por un ajuste de bondad debido a datos nulos a mala interpolación del sistema Pisco, para luego calcular los caudales por el método Dick Pescheke, así generar curvas IDF e hietogramas y finalmente obtener el caudal.

### 2.2.8.- Modelo GR2M

Según Llauca H. (2019), en su informe de “Modelamiento hidrológico a paso mensual para el monitoreo de sequias hidrológicas en cuencas de la vertiente del Pacífico y del Titica”, presentado al SENAMHI y revisado por el PhD. Waldo Lavado Casimiro, sostiene que esta metodología conceptualiza la cuenca como un par de estanques, el primero que sirve para la producción y la segunda que es para el rastreo, principalmente tiene dos parámetros que son  $X_1$  y  $X_2$ , que definen la capacidad máxima del estanque de producción y el intercambio de agua entre la superficie y aguas subterráneas en el estanque de rastreo. Este modelo genera caudales de salida de la cuenca ( $Q$ ), a partir de datos mensuales de precipitación y evotranspiración potencial, también considera también variables de estado en el estanque de producción ( $S$ ) y

rastreo (R). Con respecto a las incertidumbres, se agregan factores de corrección para la precipitación y evotranspiración potencial. (p.6)

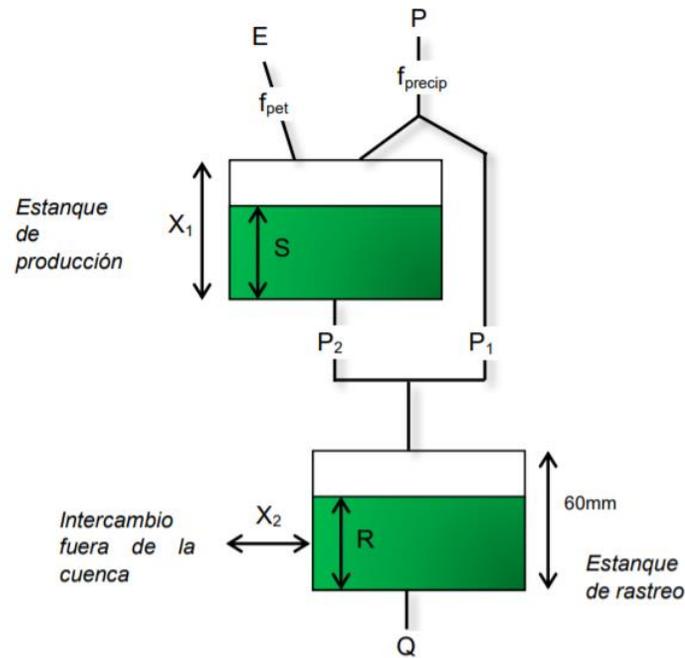


Figura 19. Estructura del Modelo GR2M

Fuente: Llauca H., 2019

### 2.2.9.- Avenidas máximas

Las avenidas máximas se calculan con las precipitaciones máximas en 24 horas, este tipo de avenidas se caracterizan por tener una larga duración en las precipitaciones o un acumulo de vertientes de subcuencas a la parte final de la cuenca, es por ello que se debe analizar las avenidas para los diferentes periodos de retorno de acuerdo a lo que demande las obras hidráulicas.

### 2.3.- Definición de términos básicos

**Precipitación:** es uno de los procesos del ciclo hidrológico, que consta en la caída del agua luego de pasar los procesos de evaporación y condensación, en otras palabras, vendría a ser la cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre, además, estas pueden tener diferentes formas y diferentes tamaños, según la concentración.

**Escorrentamiento:** es una componente del ciclo hidrológico, y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que

llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (estación de aforo).

Caudal: Es la cantidad de agua que circula través de una sección dada, en función a sus unidades ( $m^3/s$ ), vendría a ser el volumen que pasa por una sección dada en un determinado tiempo.

Periodo de retorno: Es una representación para estimar la probabilidad de que se presente una avenida con un caudal determinado en un periodo dado.

Obras hidráulicas: Viene a ser toda infraestructura que tengo como elemento principal al agua, en otras palabras, son obras para el aprovechamiento del agua.

Cuenca: Es un territorio de drenaje natural por donde el agua se dirige hacia el mar o lagos a través de un río.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1.- Hipótesis

#### 3.1.1.- Hipótesis principal

Con el procesamiento de datos de precipitación por ambas metodologías se podrá ver la variación de caudal entre estas en la cuenca Chikllarazo.

#### 3.1.2.- Hipótesis secundarias

- La diferencia de las precipitaciones se obtendrá a través de la aplicación metodología PISCO se extraerá los datos del R-Studio de acuerdo a la información brindada de la base digital de interpolación de precipitaciones del ANA, para la metodología convencional se realizará la compra de datos de precipitaciones de la base de datos del SENAMHI.
- Se calculará las precipitaciones en diferentes periodos de retorno según las diferentes obras hidráulicas que beneficien a los pobladores de la zona de estudio.
- La comparación de caudales se realizará por el método racional para ambas metodologías.

### 3.2.- Variables

Núñez Isabel (2007), sostiene que se denominan variables a los constructos, propiedades o características que adquieren diversos valores. Es un símbolo o una representación, por lo tanto, una abstracción que adquiere un valor no constante. Son elementos constitutivos de la estructura de la hipótesis, o sea del enunciado de la hipótesis que establece su relación.

Variable independiente: Precipitaciones en la cuenca Chikllarazo

Villasís, Miranda (2016), sostiene que, en los estudios de investigación, la(s) variable(s) independiente(s) se deben considerar cuando se pretende determinar la relación entre al menos dos variables: la independiente y la dependiente. Así, en general, tendrán que estar incluidas en estudios comparativos o analíticos, ya que los investigadores desean observar el efecto (positivo o negativo) de la variable independiente sobre la dependiente.

VARIABLES DEPENDIENTES: Metodología Pisco, convencional

Leonor (1998), sostiene que la variable dependiente es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente o variable causa. La variable dependiente es la variable respuesta o variable de salida output. En términos comportamentales, esta variable es el comportamiento resultante de un organismo que ha sido estimulado.

### 3.2.1.- Definición conceptual de variables

#### Precipitaciones en la cuenca Chicllarazo

Las precipitaciones de la cuenca de estudio se extraen de la base de datos del SENAMHI mediante el software Rstudio para metodología Pisco y de las estaciones meteorológicas para el método convencional, para generar con estas los caudales por metodologías mencionadas.

#### Metodología Pisco

Es la metodología grillada por la interpolación de estaciones meteorológicas brindadas por el SENAMHI en el software Rstudio que luego pasan por un proceso de ajustes de bondad de datos para calcular el caudal por los diferentes métodos hidrológicos.

#### Metodología Convencional

Se extrae las precipitaciones de las estaciones meteorológicas, luego se hace la separación de áreas con el método de los polígonos de Thiessen para realizar los diferentes cálculos hidrológicos y determinar los caudales según los cálculos hidrológicos

### 3.2.2.- Operacionalización de variables

Quintana Silvestre (2020), sostiene que la operacionalización de variables es el proceso metodológico mediante el cual el investigador “trae” desde el plano teórico al plano práctico, explicando en detalle la definición y cómo se miden las variables que se han seleccionado.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1.- Tipo y nivel

Según Behar (2008), afirma que la investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Busca confrontar la teoría con la realidad. (p.20)

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

Según Cazau (2006) afirma que en un estudio descriptivo se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno. (p.27)

La presente investigación fue de nivel descriptivo-comparativo

### 4.2.- Diseño de la investigación

Borja (2012) afirma: “Las investigaciones no experimentales no establecen, ni pueden probar relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos” (p.13).

La presente investigación fue no experimental con diseño longitudinal.

### 4.3.- Población y muestra

Según López (2015), sostiene que la población es una expresión equivalente para referirse al conjunto total de elementos que constituyen el ámbito de interés analítico y sobre el que queremos inferir las conclusiones de nuestro análisis, conclusiones de naturaleza estadística y también sustantiva o teórica. (p.7)

La población de estudio fue la cuenca del Río Cachi, con una extensión de 3609.855 km<sup>2</sup> según INGEMMET.

Lopez (2015), sostiene que una muestra es una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población, seleccionadas de forma aleatoria,

y que se somete a observación científica con el objetivo de obtener resultados válidos para la población total investigada, dentro de unos límites de error y de probabilidad de que se pueden determinar en cada caso. (p.6)

La muestra para la presente investigación fue la subcuenca del río Chikllarazo, con una extensión de 445km<sup>2</sup>.

La muestra de estudio se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

#### 4.4.- Técnicas e instrumentos

##### 4.4.1.- Tipos de técnicas e instrumentos

En esta investigación las técnicas usadas fueron las siguientes:

- Observación directa.

Consta en la visita a campo o zona de estudio para poder observar las diferentes anomalías que ocurren.

- Instrumentos:

- Aforos con correntómetro digital

- Para la metodología PISCO, se hizo la extracción de datos mediante el software, mientras que para el método convencional se hizo la compra de datos de precipitaciones del SENAMHI

- Normas Técnica 001 – SENAMHI – DHI - 2017

- Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

- Microsoft Excel v2020

- R-STUDIO v4.0.5

- ARCGIS v10.8

- HECHMS v4.8

- IBER 2.5.2

- Mapa de ubicación digital

- Software SPSS

#### 4.4.2.- Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Esta investigación se realizó con datos confiables obtenidos de la base de datos del SENAMHI para la metodología Pisco y metodología Convencional, posterior a ello se realizó el método de polígonos de Thiessen que viene a ser método más empleado en los proyectos de obras hidráulicas.

Para la validez de los datos y procesamiento se utilizó la norma técnica 001 - 2017, elaborado por la dirección de Hidrología del SENAMHI y el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Por otro lado, se utilizó los softwares con licencias vigentes para un correcto manejo de ellas.

#### 4.4.3.- Procedimientos para la recolección de datos

Procedimiento 1: Para la obtención de precipitaciones para metodología Pisco se hizo la delimitación de la cuenca Chicllarazo en el software ArcGis para así poder insertar en el software Rstudio y obtener un grillado de la zona delimitada, con el cual se genera precipitaciones máximas en 24 horas. Mientras que para metodología convencional se hizo la compra de los datos de precipitaciones a la base de datos del SENAMHI para así proceder a realizar las respectivas comparaciones y obtener las varianzas entre ellas.

Procedimiento 2: Luego de obtener los datos de precipitaciones para la metodología Pisco y metodología Convencional, se realizó el cálculo de precipitaciones para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años mediante el método de Dyck Peschke.

Procedimiento 3: Con respecto a la obtención de los caudales para la metodología Pisco y metodología Convencional, se realizó mediante el método racional con el cual obtuvimos caudales para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, finalmente se hizo las comparaciones respectivas para obtener las varianzas entre estas

#### 4.4.4.- Técnicas para el procesamiento y análisis de información

Para la presente investigación se usó de la norma técnica 001 - 2017, elaborado por la dirección de Hidrología del SENAMHI y el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, con respecto a los métodos de

procesamiento de datos para la metodología Pisco y metodología Convencional, se hizo uso del método de Dyck Peschke para la obtención de precipitaciones para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, mientras que, para la obtención de caudales se realizó mediante el método racional.

Por otro lado, el ajuste de datos de precipitaciones se realizó mediante métodos estadísticos de distribución de Gumbel I, Log Normal, Log Normal III, Gamma III, Pearson Tipo III.

Finalmente, se realizó la matriz de consistencia que se encuentra en anexo 3 donde se plasma nuestras variables dependientes y variable dependiente.

## CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1.- Resultados

Para la ejecución de los resultados se deben recolectar datos de precipitaciones para ambas metodologías tanto como para la metodología PISCO como para la metodología convencional, la data de precipitaciones PISCO la obtendremos con el software R-Studio y las precipitaciones del método convencional serán obtenidas de los registros del SENAMHI por las estaciones meteorológicas.

Estos datos de precipitaciones deben ajustarse para tener buenos resultados al momento de obtener los caudales de cada metodología.

#### 5.1.1.- Caracterización de la subcuenca

La cuenca Chicllarazo – subcuenca Jauccalla, tiene un área aproximadamente 12.001 km<sup>2</sup> y de perímetro 18.27 km, el recorrido del río abarca desde la cota 4556 m.s.n.m. y desciende hasta los 4214 m.s.n.m. con una longitud de 5.791 km y una pendiente promedio de 5.91%.

##### - Ubicación del punto de interés

La subcuenca de acuerdo a la información cartográfica a escala 1:10000 del IGN y la topográfica de detalle a escala 1:1500, corresponde a una en la cual el río está formando un curso de agua sensiblemente recto y de media pendiente; esta ubicación corresponde aproximadamente a las siguientes coordenadas geométricas:

Cuenca del río Chicllarazo

Puntos de captación: E558409.9; N8512011.49

Altitud media de la cuenca: 4459.67

X (Centroide) de la cuenca: 549908.49

Y (Centroide) de la cuenca: 8514368.39

- Ubicación de la cuenca en estudio

La subcuenca se encuentra ubicada en las coordenadas Este: 549908.49 Norte:8514368.39 y Cota: 4540.22 siendo estas los centroides de la cuenca Chicllarazo.

- Accesos y vías de comunicación

A la zona del proyecto se tiene acceso directo desde la ciudad de Ayacucho: La principal vía de acceso con la que cuenta el área de influencia del proyecto es a través de la vía los Libertadores y se resume en el cuadro siguiente:

Tabla 3. Acceso a la zona de estudio

De	a	distancia (KM)	Tiempo (min)	Tipo de vía	Transporte
Huamanga	Repart. Casacancha	41.5	45	Asfaltado	Camioneta
Repart.	Presa Cuchoquesera	20.0	45	Afirmad	Camioneta
TOTAL =		61.5	90		

Fuente: Elaboración propia

- Área de la subcuenca

Área de la subcuenca, o área de drenaje, es quizás la propiedad de la cuenca más importante, ésta determina el potencial del volumen de escorrentía, proporcionado por la tormenta que cubre el área completa. La cuenca es delimitada por la unión de puntos altos que separan las cuencas de drenaje en salidas diferentes.

Debido al efecto de flujo subsuperficial (interflujo y flujo subterráneo), la división de cuenca

hidrológica no podría estrictamente coincidir con la división topográfica de la cuenca. La división hidrológica, sin embargo, es menos tratable que la división topográfica; por lo que, este último es preferido para uso práctico.

La subcuenca de Jauccalla tiene un área de drenaje de 12.001Km<sup>2</sup>

- Perímetro

Es la longitud de límite exterior de la subcuenca. Su magnitud depende de la superficie y la forma de la cuenca. El perímetro de la cuenca Chicllarazo es de 18.27 Km.

- Pendiente de la subcuenca

La pendiente de la subcuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía, es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de crecidas. La pendiente de la subcuenca Jauccalla tiene 5.91%.

- Longitud del curso

Llamado también longitud de la subcuenca (o longitud hidráulica) es la longitud medida a lo largo del curso de agua principal. El curso de agua principal o corriente principal es el curso de agua central y más largo de la cuenca y la única que conduce escorrentía hacia la salida. El cálculo de esta longitud del curso principal se realizó por el software HEC-HMS dándonos un resultado de 5.791 Km.

- Pendiente media de la subcuenca

Una vez obtenida la longitud, se determinan las cotas de los puntos de inicio y final de cauce principal, obteniéndose así la pendiente media como la relación entre la diferencia de cotas y la longitud del cauce, como se muestra en la siguiente figura. Teniendo así una pendiente media de 5.91% en la cuenca Chicllarazo – Subcuenca Jauccalla.

#### 5.1.2.- Característica de forma

- Coeficiente de compacidad

Este coeficiente se debe a Gravelius, y es la relación entre el perímetro de la subcuenca y el de un círculo de la misma área que la subcuenca. Se trata de un coeficiente que da idea sobre la configuración geométrica de la subcuenca,

y por tanto del hidrograma de crecida (puesto que la forma de la cuenca afecta directamente al tiempo de respuesta). Para la subcuenca Jaucalla se tiene una característica de forma de 1.85, clasificándola, así como rectangular.

- Factor forma

Este factor fue definido por Horton. Es el cociente entre la superficie de la subcuenca y el cuadrado de su longitud máxima (recorrido principal de la cuenca). El Factor forma de la subcuenca Chicllarazo es de 0.20.

- Relación de elongación

Esta variable, introducida por Schumm de 1956, relaciona el diámetro del círculo asociado con la longitud de la cuenca, denominándola elongación radio y simbolizándola con las iniciales Re, que coincidan con la traducción al castellano del nombre de la variable. La relación de elongación para la cuenca Chicllarazo es de 0.51.

- Radio de circularidad

Es la superficie de la cuenca dividida por la superficie de un círculo cuyo perímetro coinciden con el de la cuenca. El radio de circularidad para la cuenca Chicllarazo es de 0.29

- Ancho medio

Finalmente, el ancho medio se define como la relación entre el área (A) y la longitud del cauce principal (L). En la tabla 4 y 5 se muestra el resumen de los principales parámetros morfológicos de la cuenca obtenidos con ayuda del software ArcGis

Tabla 4. Caracterización de la Cuenca

Área	12.001 km <sup>2</sup>
Perímetro	18.27 km
Pendiente	5.91%

Longitud del curso principal	5.791 km
Pendiente media de la cuenca	5.91 %

---

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5. Característica de Forma de la Cuenca

Coefficiente de compacidad	1.85
Factor de forma	0.2
Relación de elongación	0.51
Radio de circularidad	0.29
Ancho medio	4.47

---

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.3.- Modelo digital de elevación.

En primer lugar, se requiere obtener un MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE) de la zona, en formato raster, para lo cual se procesa la cartografía 1:1000,000 de la zona de estudio (Ayacucho 27-ñ); en UTM y referenciada a la zona 18s en formato vectorial shapefile.

El formato de representación digital vectorial representa los objetos espaciales codificados de forma explícita sus fronteras y dependiendo del tipo de geometría que permite definir correctamente la información.

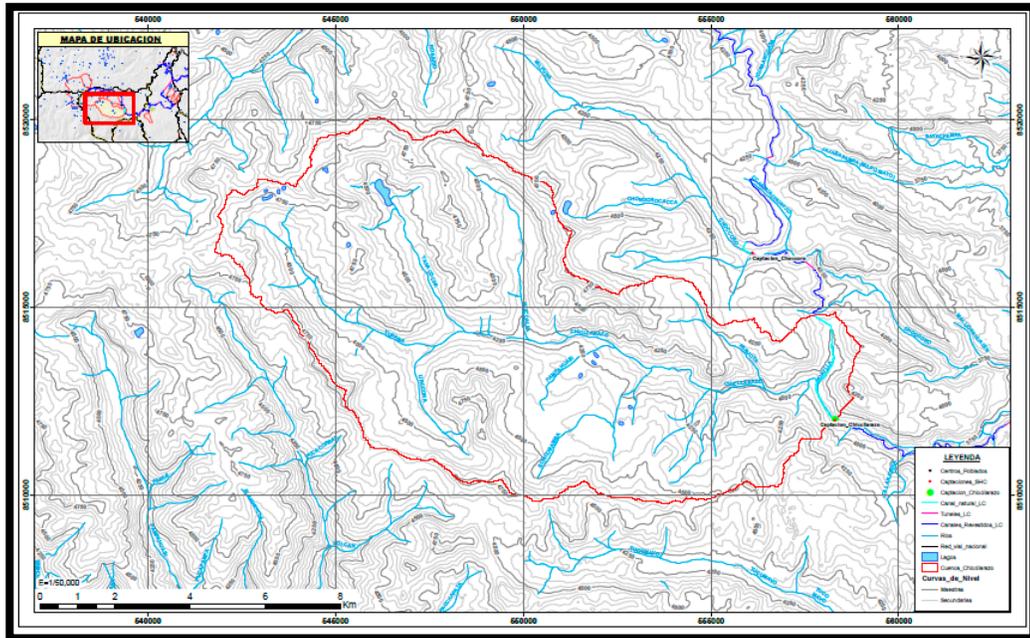


Figura 20. Topográfico de la Cuenca Chicllarazo

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

#### 5.1.4.- Modelo digital de elevación en formato ráster

Hoy en día existen nuevas herramientas que han agilizado el procesamiento y obtención de datos a partir de mapas digitales del terreno. Es el caso de la obtención de cuencas hidrográficas de una corriente a partir de modelos digitales de elevación, MDE.

Un modelo digital de elevación (MDE) es una representación digital del terreno que permite su almacenamiento y procesamiento en sistemas de información geográfica. En particular, los modelos digitales de elevación que ArcGIS 10.6 maneja tienen la estructura que se conoce como ráster. Según esta estructura, el área que se desea representar se discretiza en regiones elementales rectangulares llamadas píxeles, y a cada una de ellas se les asigna un valor de elevación sobre el nivel del mar; este valor representa el valor medio de la altura tomado sobre todos los puntos al interior del píxel.

Una vez procesada la información de partida se introduce en el programa como una capa vectorial de curvas de nivel. El formato de representación digital ráster es el dual lógico del planteamiento vectorial. Se procede mediante la codificación del interior de los objetos quedando sus límites implícitamente representados. Para realizar esta codificación se superpone una rejilla de unidades regulares, donde a cada celda de esta rejilla se le asigna un valor dependiente del tipo de información a la que representa.

Se genera una red de triángulos irregulares (TIN) de elevaciones del terreno, con la finalidad de depurar las posibles depresiones o errores inherentes al raster.

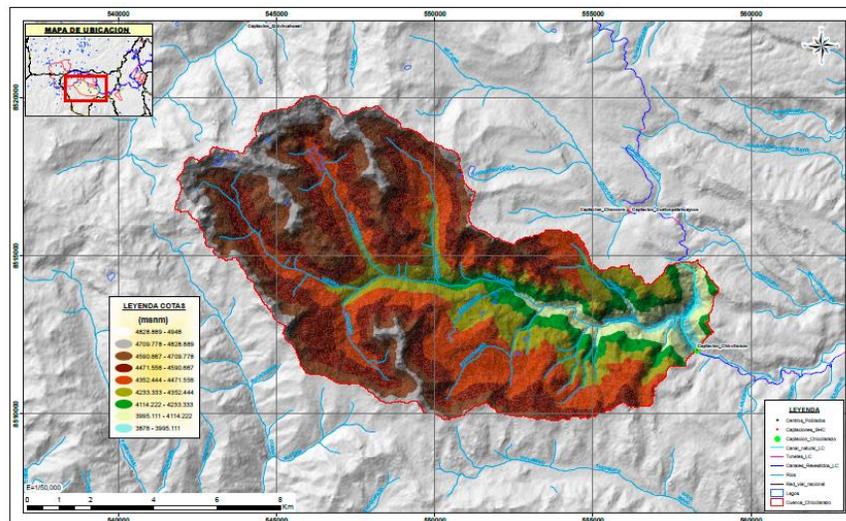


Figura 21. TIN Cuenca Chicllarazo

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

### 5.1.5.- Raster fill

Con esta herramienta se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.

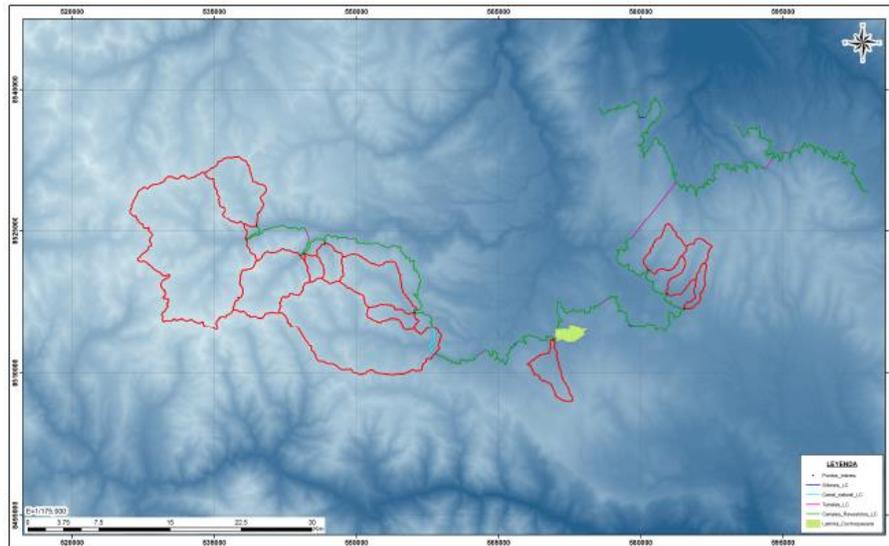


Figura 22 - Raster de toda la cuenca Cachi

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

### 5.1.6.- Dirección de flujo

Se calculan las direcciones de flujo de cada una de las celdas de Modelo Digital del Elevaciones. En este paso se define la dirección de mayor pendiente, evaluando celda a celda las cotas de las celdas circundantes a cada una de ellas. Para esto se resuelve el algoritmo D8 que sólo contempla que el agua de un pixel vierta hacia otro único vecino. Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo.

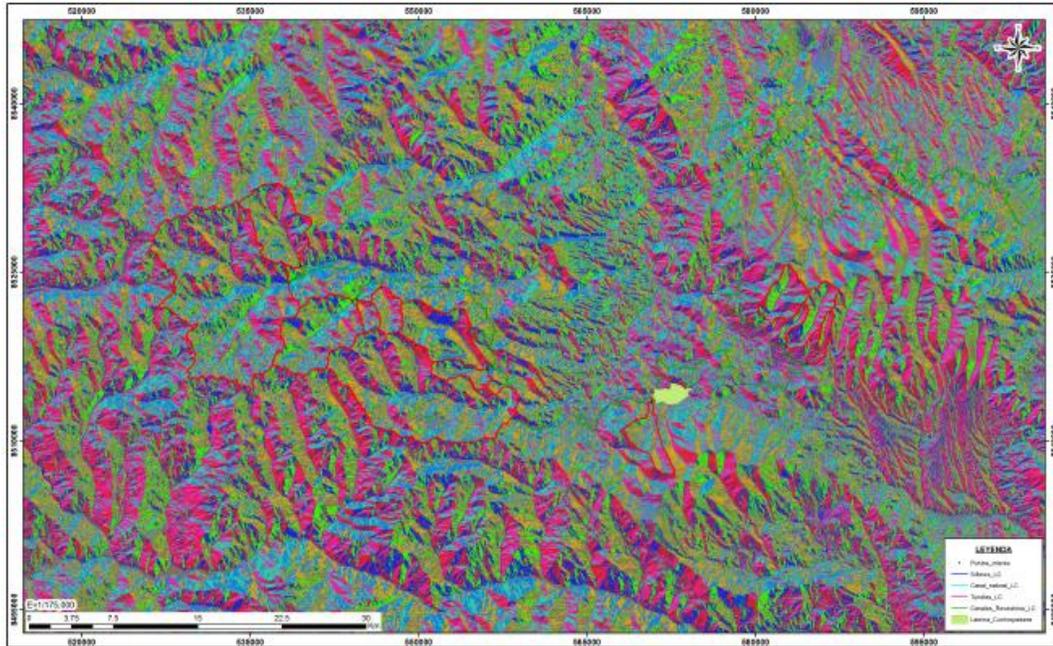


Figura 23. Direcciones de Flujo

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

A partir de las direcciones de flujo, se obtiene una capa ráster de celdas drenantes acumuladas en el MDE. En este paso se determina el número de celdas que drenan a cada celda.

#### 5.1.7.- Red de drenaje

La red de drenaje que se va a procesar depende del área umbral definida, es decir, del número de celdas acumuladas impuestas para ser considerada cada celda perteneciente o no a la red de drenaje. Por lo tanto, a mayor número de área acumulada, la longitud total de la red de drenaje es inferior. El umbral puede especificarse como área en unidades del MDE o como número de celdas. El valor por defecto es del 1% de la mayor área de drenaje de toda la cuenca. Para este proyecto se aplicó un umbral de 5%

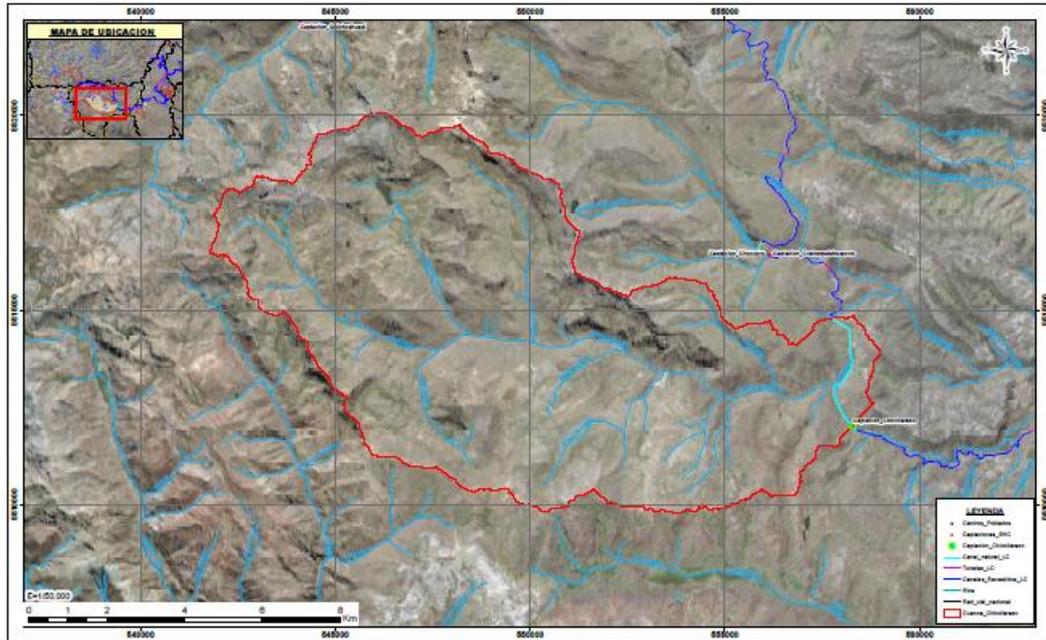


Figura 24. Red de Drenaje

Fuente: Elaboración propia usando el software Arcgis

Luego de tener todos los parámetros geomorfológicos de la cuenca empezamos con los cálculos de los caudales por el método convencional y PISCO, estos parámetros calculados nos servirán para determinar los cálculos en ambas metodologías debido a que la geomorfología de la cuenca no varía, pero si los métodos de cálculo de caudal

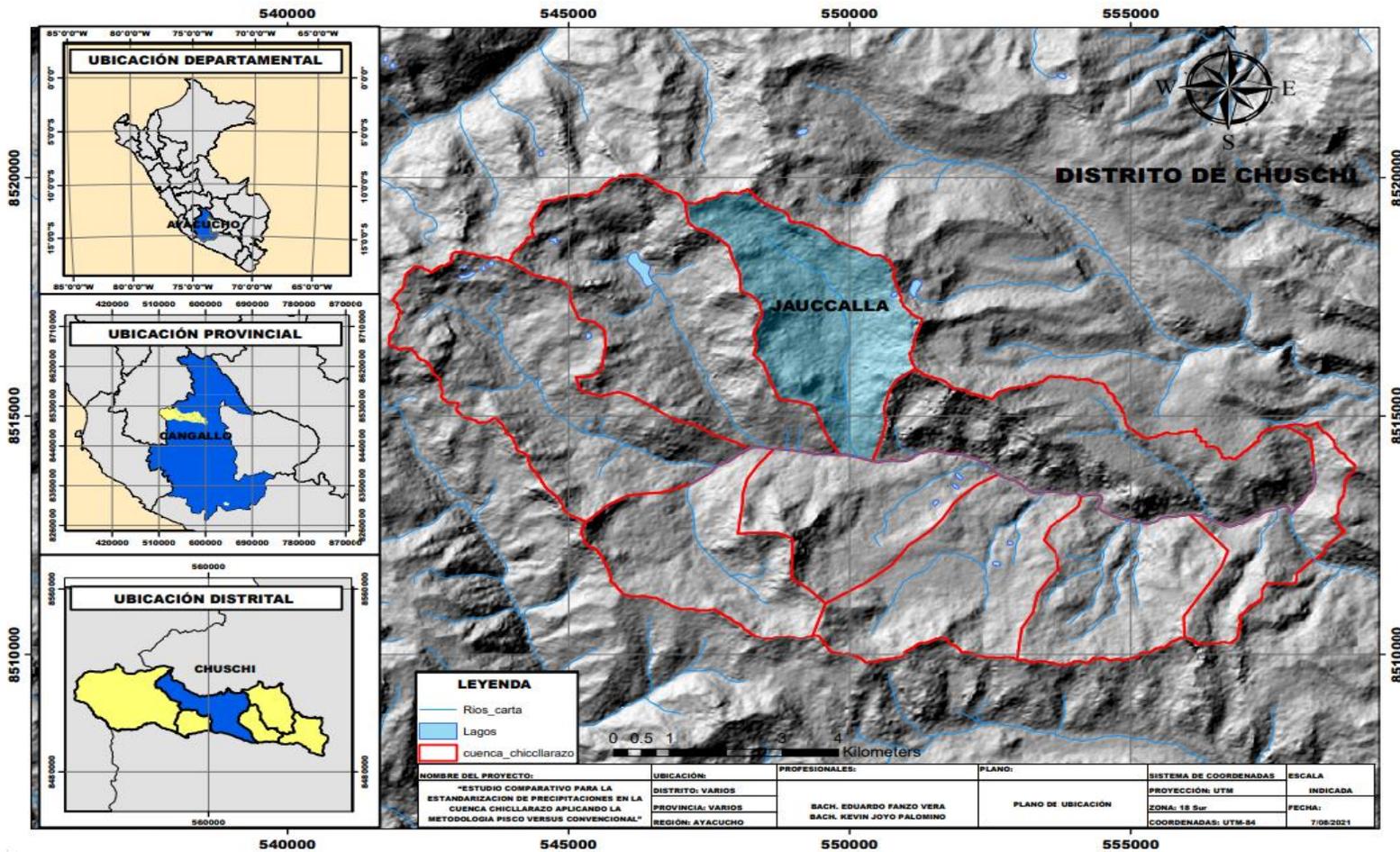


Figura 25. Plano de la Cuenca Chicllarazo

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

## 5.2.- Método convencional

### 5.2.1.- Información básica disponible

En el ámbito de influencia del sistema hidráulico Cachi existen deficientes estaciones pluviométricas y pluviográficas, por esta razón para caracterizar la precipitación real de las cuencas se ha considerado 11 estaciones pluviométricas en el ámbito exterior de las cuencas en estudio.

De la información pluviométrica se ha extrahido los valores máximos de la serie de tiempo correspondiente a la precipitación total diaria registrada en cada estación pluviométrica.

Tabla 6. Estaciones meteorológicas de la cuenca Chicllarazo – Jauccalla

N°	Estación	Altitud (m.s.n.m.)
1	Allpachaca	3550
2	Apacheta	4150
3	Chiara	3587
4	Choccoro	4025
5	Cuchoquesara	3724
6	Inia	2756
7	Pampa Cangallo	3375
8	Pucaloma	3490
9	Sachabamba	3544
10	San Pedro de	3497
11	Tambillo	3343

Fuente: Elaboración Propia

### Selección de la precipitación máxima en 24 horas

En estudios hidrológicos es necesario conocer la altura promedio de precipitación sobre un área. La altura promedio puede ser encontrada de varias formas, dependiendo de la cantidad de estaciones pluviométricas, su ubicación y/o distribución en el área de estudio.

Determinar la precipitación de diseño sobre una cuenca, a partir de los registros históricos, es de suma importancia para determinar los eventos extremos en la cuenca. En la presente tesis se determinó la precipitación máxima en 24 horas, mediante el método aritmético (promedio simple de cada una de las estaciones usadas), promedio de la serie histórica de cada estación. También puede usarse el método del polígono de Thiessen, a continuación, se muestra la metodología.

#### 5.2.2.- Método de Thiessen

El método de Thiessen establece que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano; por lo que la precipitación registrada en un pluviómetro dado se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica en cualquier dirección. Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan de las correspondientes áreas de aplicación en una red de polígonos de Thiessen, cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a las líneas que unen pluviómetros adyacentes; luego la precipitación promedio para la cuenca sobre el área es:

El método de Thiessen generalmente es más exacto que el método de la media aritmética, pero no tiene en cuenta en forma directa las influencias de la orografía en la lluvia, en áreas montañosas la distancia vertical puede ser más importante que la horizontal. La precipitación promedio en el área de estudio, abarcando cada uno de las cuencas en estudio se muestra en la tabla 8

Tabla 7. Datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la Cuenca Chicllarazo

ITEM	AÑO	PPmax24hrs (mm)
1	1982	-
2	1983	-
3	1984	-
4	1985	-
5	1986	-
6	1987	-
7	1988	-
8	1989	-
9	1990	-
10	1991	-
11	1992	45.70
12	1993	57.40
13	1994	35.90
14	1995	34.50
15	1996	38.10
16	1997	28.30
17	1998	35.20
18	1999	24.40
19	2000	47.45
20	2001	44.20
21	2002	28.50
22	2003	34.80
23	2004	36.00
24	2005	32.00
25	2006	31.70
26	2007	43.50
27	2008	36.20
28	2009	32.70
29	2010	37.40
30	2011	41.30
31	2012	49.90
32	2013	35.90
33	2014	41.70
34	2015	32.80
35	2016	46.00

Fuente: Elaboración Propia

- Identificación de datos atípicos

Un valor atípico es un dato que es considerablemente diferente a los otros datos de la muestra.

Con frecuencia, los valores atípicos en un conjunto de datos pueden alertar a los estadísticos sobre las anomalías experimentales o los errores en las mediciones tomadas, y debido a esto puede que los descarten del conjunto de datos. En la tabla 6 se aprecia que no existen valores atípicos, de haber estos serán descartados en análisis posteriores. Los datos históricos aun serán sometidos a pruebas de rachas, homogeneidad y estacionariedad.

Tabla 8. Parámetros Para los Datos Atípicos

Parámetros estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	25	25
Sumatoria	951.55	39.31
Valor Máximo	57.40	1.76
Valor Mínimo	24.40	1.39
Media:	38.062	1.572
Varianza:	57.109	0.007
Desviación Estándar:	7.557	0.085
Coefficiente Variación:	0.199	0.054
Coefficiente de Sesgo:	0.668	0.0722
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

Fuente:

Elaboración Propia

Tabla 9. Valores  $K_n$  para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	$K_n$						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Elaboración Propia, adaptado de U.S. Water Resources Council, 1981

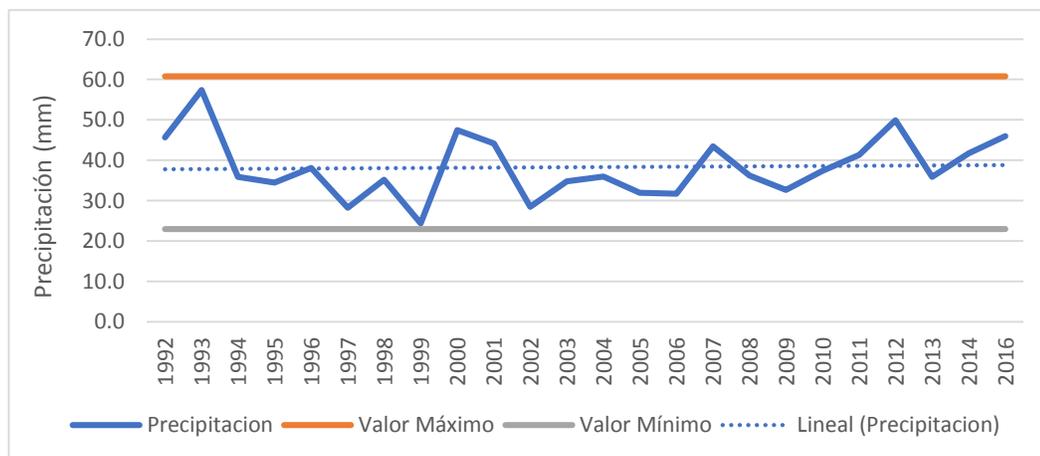


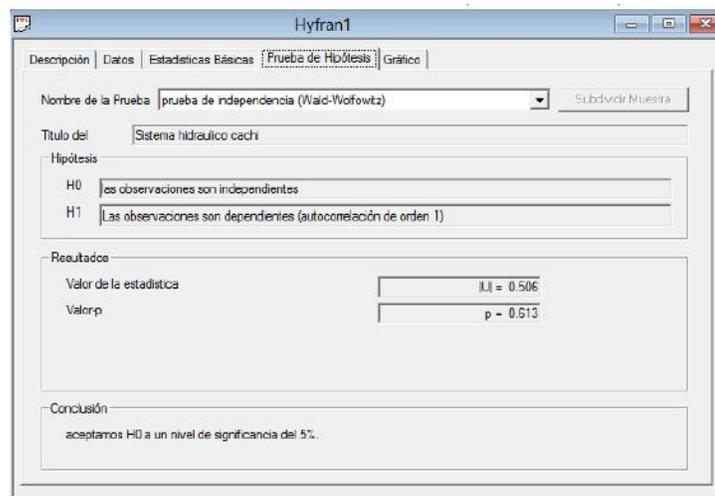
Figura 26. Rango de precipitación de la cuenca Chicllarazo

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

### 5.2.3.- Pruebas de hipótesis de la muestra

#### - Prueba de rachas Wald – Wolfowitz

Permite contrastar la hipótesis nula de que dos muestras independientes proceden de poblaciones con distribuciones continuas idénticas contra la hipótesis alternativa de que las poblaciones difieren en algún aspecto, que puede ser tanto la tendencia central como cualquier otra característica. Para realizar el contraste se combinan las observaciones de ambas muestras, ordenándolas de menor a mayor, y se halla el número de rachas o valores sucesivos de una misma muestra en la secuencia ordenada.



The screenshot shows the 'Prueba de Hipótesis' tab in the Hyfran1 software. The test selected is 'prueba de independencia (Wald-Wolfowitz)'. The title is 'Sistema hidráulico chechi'. The null hypothesis (H0) is 'las observaciones son independientes' and the alternative hypothesis (H1) is 'Las observaciones son dependientes (autocorrelación de orden 1)'. The results section shows a test statistic value of 0.506 and a p-value of 0.613. The conclusion is 'aceptamos H0 a un nivel de significancia del 5%'.

Figura 27. Prueba de Independencia (Wald - Wolfowitz)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

#### - Pruebas de estacionariedad (Kendall)

La prueba tiene como objetivo detectar una tendencia al incremento o al decrecimiento en la serie de datos.

La prueba de Mann - Kendall está basada en la estadística S. Cada par de valores observados  $y_i, y_j$  ( $i > j$ ) de la variable aleatoria es inspeccionado para encontrar cuando  $y_i > y_j$  o  $y_i < y_j$ . Si el número de pares positivos es P, y el número del tipo de pares negativos es M entonces la S es definida como  $S = P - M$ .

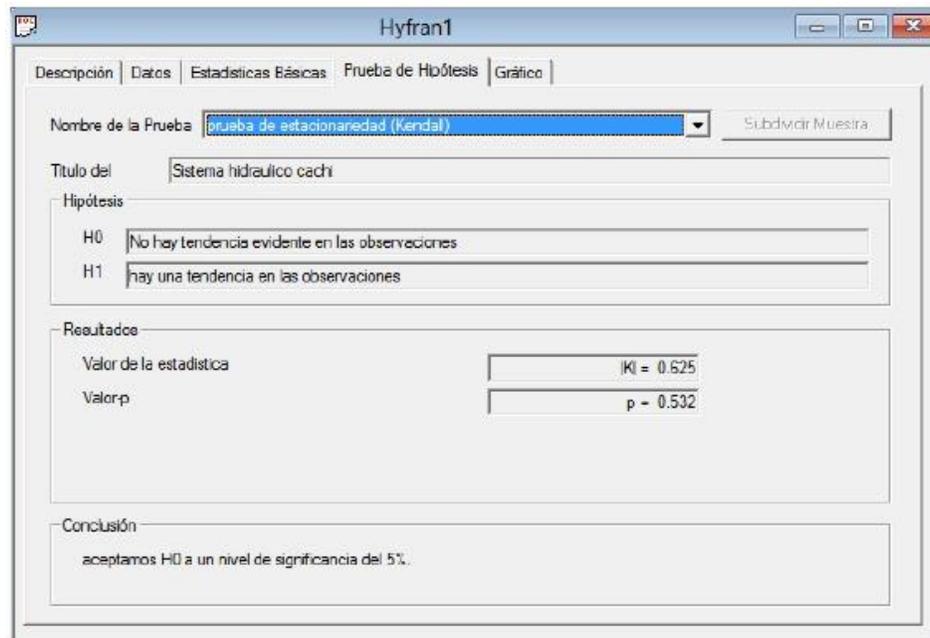


Figura 28. Prueba de Estacionariedad (Kendall)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

- Homogeneidad de prueba

Cuando se trata de variables medibles en por lo menos una escala ordinal y pueden suponerse poblaciones continuas la prueba no paramétrica más potente es la de Wilcoxon.

La hipótesis nula del contraste postula que las muestras proceden de poblaciones con la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias respecto a la tendencia central de las poblaciones y puede ser direccional o no. El contraste se basa en el comportamiento de las diferencias entre las puntuaciones de los elementos de cada par asociado, teniendo en cuenta no sólo el signo, sino también la magnitud de la diferencia.

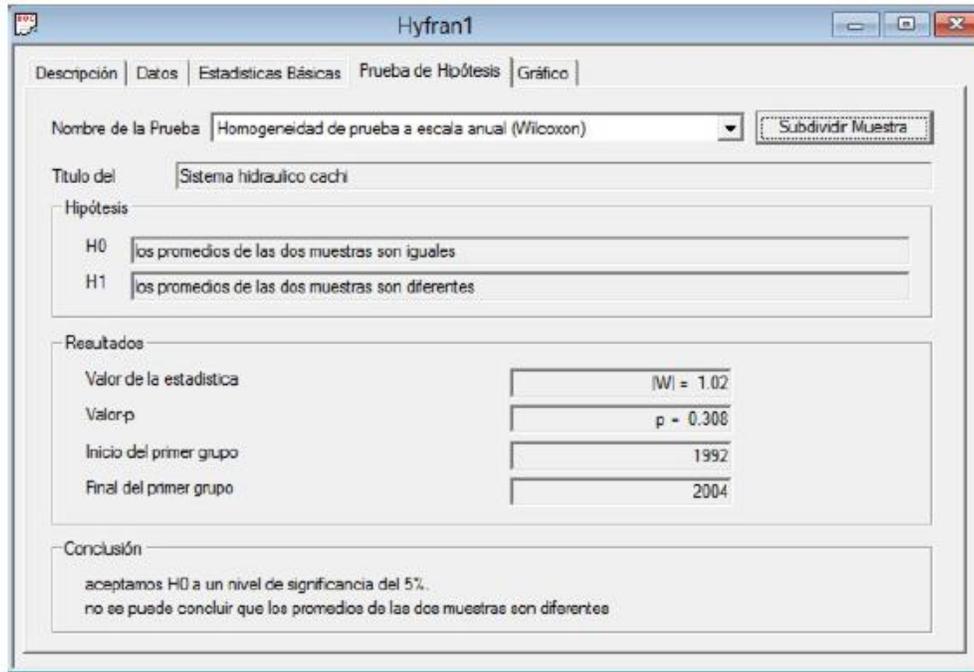


Figura 29. Homogeneidad de Prueba a Escala Anual

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

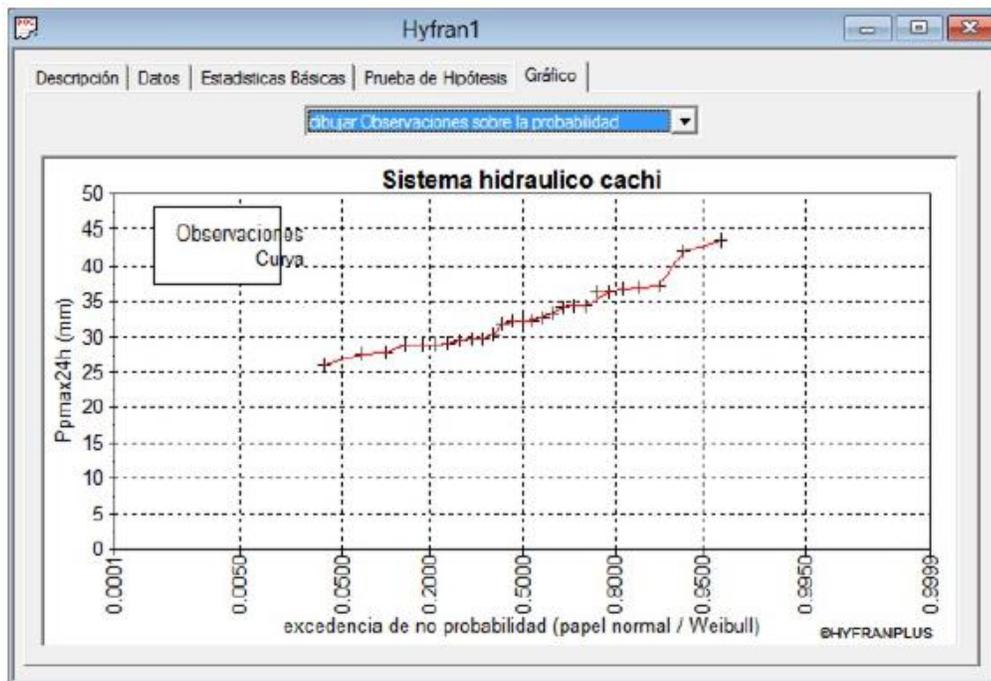


Figura 30. Precipitación Max. 24h vs Probabilidad Empírica Weibull

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

#### 5.2.4.- Funciones de distribución de probabilidades

En la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teórica; y obviamente no es posible probarlas todas para un problema particular, por lo tanto, es necesario escoger uno de esos modelos, el que se adapte mejor al problema bajo análisis.

Para el análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas, se ha elegido las precipitaciones máximas de cada estación, luego de obtener estos datos se ajustaron a 5 Distribuciones de probabilidades las cuales son:

- Distribución Gumbel I
- Distribución Log Normal
- Distribución Log Normal III
- Distribución Gamma II
- Distribución Gamma III ó Pearson Tipo III

Los valores de precipitación máxima en 24 horas seleccionados para la zona de estudio, fueron ajustados a las distribuciones teóricas antes mencionados, para ello se recurrió al software Hyfran versión 1.2.

Tabla 10. Función Distribución de Probabilidades Gumbel I

T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	62.4	5.15	52.3	72.5
2000	0.9995	56.8	4.3	48.4	65.3
1000	0.999	54.5	3.93	46.7	62.2
500	0.998	52.1	3.57	45.1	59.1
200	0.995	48.9	3.09	42.9	55
100	0.99	46.5	2.73	41.2	51.9
50	0.98	44.1	2.37	39.5	48.8
25	0.96	41.7	2.02	37.8	45.7
20	0.95	40.9	1.9	37.2	44.7
10	0.9	38.4	1.55	35.4	41.5
5	0.8	35.9	1.2	33.5	38.2
3	0.6667	33.8	0.953	31.9	35.7
2	0.5	32	0.773	30.5	33.5
1.4286	0.3	30.1	0.67	28.8	31.4
1.25	0.2	29.1	0.663	27.8	30.4
1.1111	0.1	27.8	0.703	26.5	29.2
1.0526	0.05	26.9	0.762	25.4	28.4
1.0204	0.02	26	0.842	24.4	27.7
1.0101	0.01	25.5	0.898	23.7	27.2
1.005	0.005	25	0.95	23.1	26.8
1.001	0.001	24.1	1.06	22	26.1
1.0005	0.0005	23.7	1.1	21.6	25.9
1.0001	0.0001	23.1	1.18	20.8	25.4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, se aprecia los resultados obtenidos para distribución Gumbel I, al realizar la adecuación con la prueba Chi – cuadrado aceptamos H0 a un nivel de significancia de 5% como se puede ver en la figura 32.

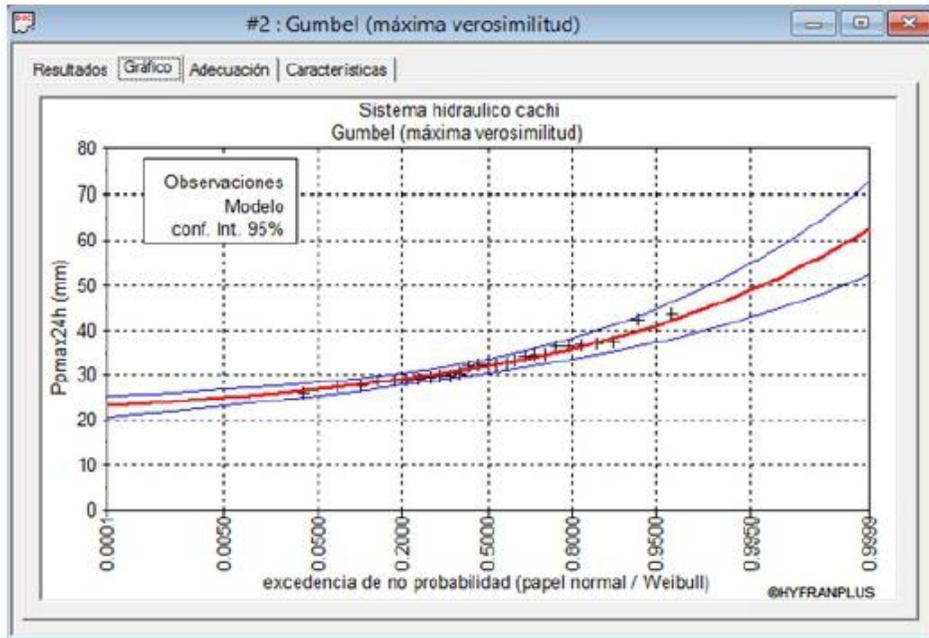


Figura 31. Gumbel I (Máxima verosimilitud)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

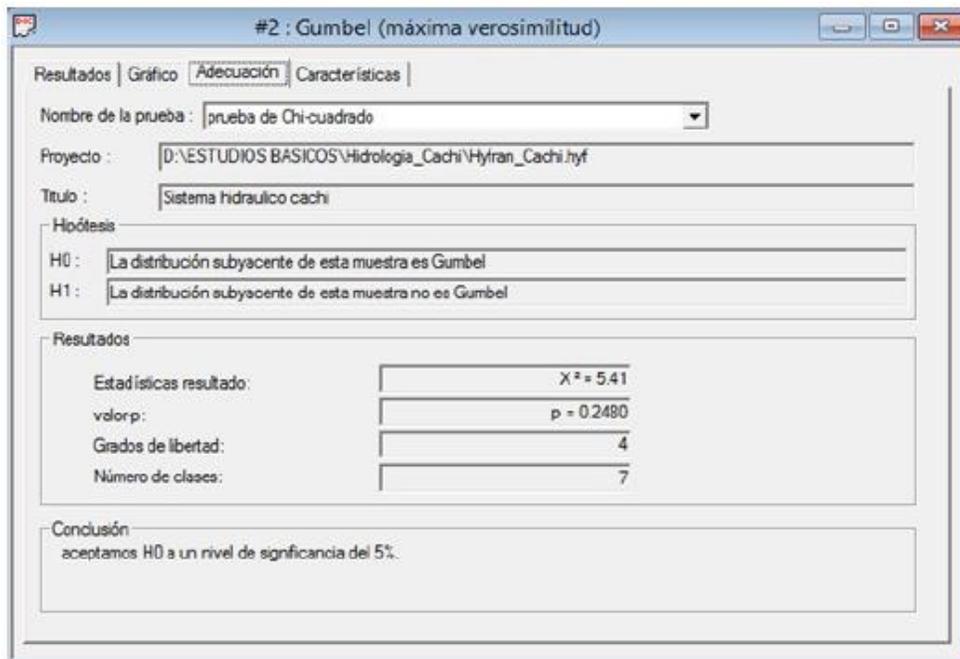


Figura 32 - Prueba Chi-Cuadrado Gumbel I

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

Tabla 11. Función de distribución de probabilidades Log-Normal

T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	52.1	3.66	45	59.3
2000	0.9995	49.4	3.12	43.3	55.5
1000	0.999	48.1	2.88	42.5	53.8
500	0.998	46.8	2.65	41.6	52
200	0.995	45.1	2.33	40.5	49.6
100	0.99	43.7	2.09	39.6	47.8
50	0.98	42.2	1.85	38.5	45.8
25	0.96	40.6	1.6	37.4	43.7
20	0.95	40	1.52	37	43
10	0.9	38.2	1.28	35.7	40.7
5	0.8	36.1	1.04	34.1	38.2
3	0.6667	34.3	0.881	32.5	36
2	0.5	32.4	0.796	30.9	34
1.4286	0.3	30.3	0.796	28.8	31.9
1.25	0.2	29.1	0.836	27.5	30.8
1.1111	0.1	27.6	0.921	25.7	29.4
1.0526	0.05	26.3	1	24.3	28.3
1.0204	0.02	25	1.09	22.8	27.1
1.0101	0.01	24.1	1.16	21.8	26.4
1.005	0.005	23.4	1.21	21	25.7
1.001	0.001	21.9	1.31	19.3	24.4
1.0005	0.0005	21.3	1.35	18.7	24
1.0001	0.0001	20.2	1.42	17.4	23

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se aprecia los resultados obtenidos para distribución Log – Normal, al realizar la adecuación con la prueba Chi – cuadrado aceptamos H0 a un nivel de significancia de 5% como se puede ver en la figura 32.

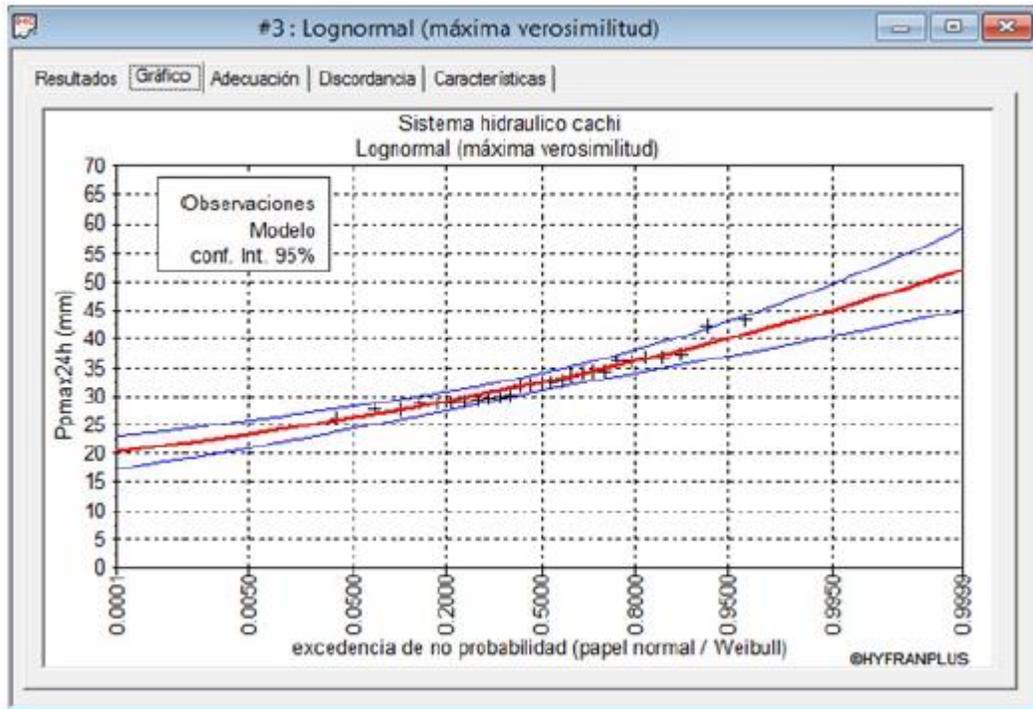


Figura 33. Log - Normal (Máxima verosimilitud)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

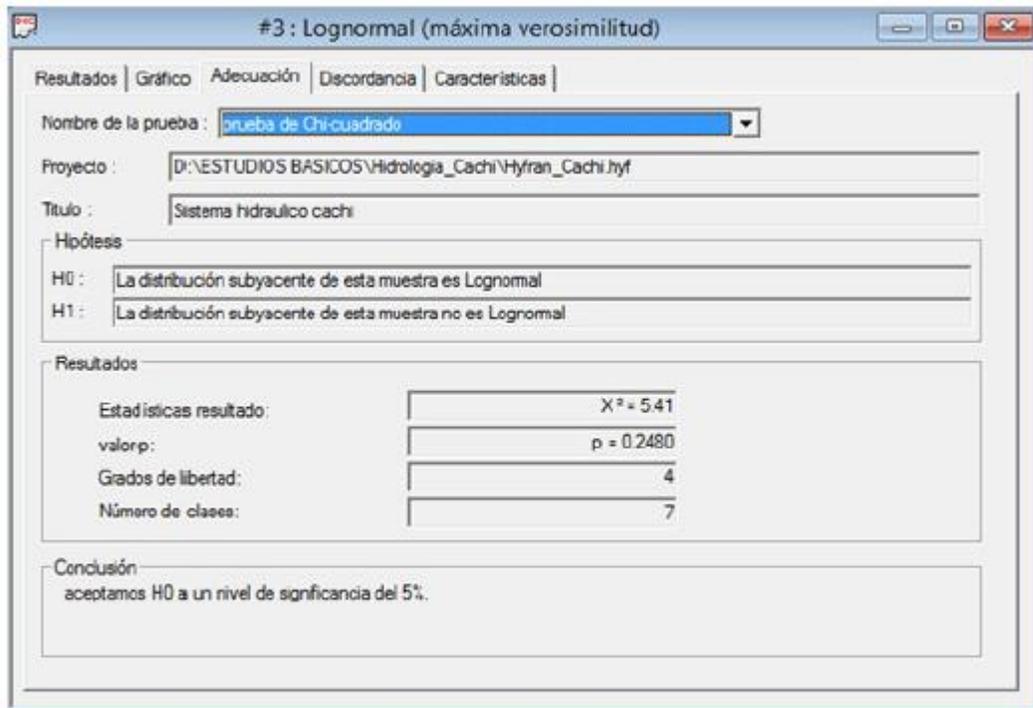


Figura 34. Prueba Chi - Cuadrado Log – Normal

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

Tabla 12. Función de distribución de probabilidades Log-Normal III

T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	64.9	14.4	N/D	N/D
2000	0.9995	58.2	10.3	N/D	N/D
1000	0.999	55.5	8.78	N/D	N/D
500	0.998	52.8	7.35	38.4	67.2
200	0.995	49.4	5.66	38.3	60.5
100	0.99	46.8	4.53	37.9	55.7
50	0.98	44.3	3.53	37.4	51.2
25	0.96	41.8	2.66	36.6	47
20	0.95	41	2.41	36.3	45.7
10	0.9	38.4	1.73	35.1	41.8
5	0.8	35.8	1.22	33.4	38.2
3	0.6667	33.8	0.96	31.9	35.6
2	0.5	31.9	0.807	30.3	33.5
1.4286	0.3	30.1	0.69	28.7	31.4
1.25	0.2	29.1	0.642	27.8	30.4
1.1111	0.1	28	0.62	26.8	29.2
1.0526	0.05	27.2	0.655	25.9	28.4
1.0204	0.02	26.4	0.754	24.9	27.9
1.0101	0.01	25.9	0.847	24.3	27.6
1.005	0.005	25.6	0.945	23.7	27.4
1.001	0.001	24.9	1.17	22.6	27.2
1.0005	0.0005	24.7	1.26	22.2	27.1
1.0001	0.0001	24.2	1.46	21.4	27.1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se aprecia los resultados obtenidos para distribución Log-Normal III, al realizar la adecuación con la prueba Chi – cuadrado aceptamos H0 a un nivel de significancia de 5% como se puede ver en la figura 36.

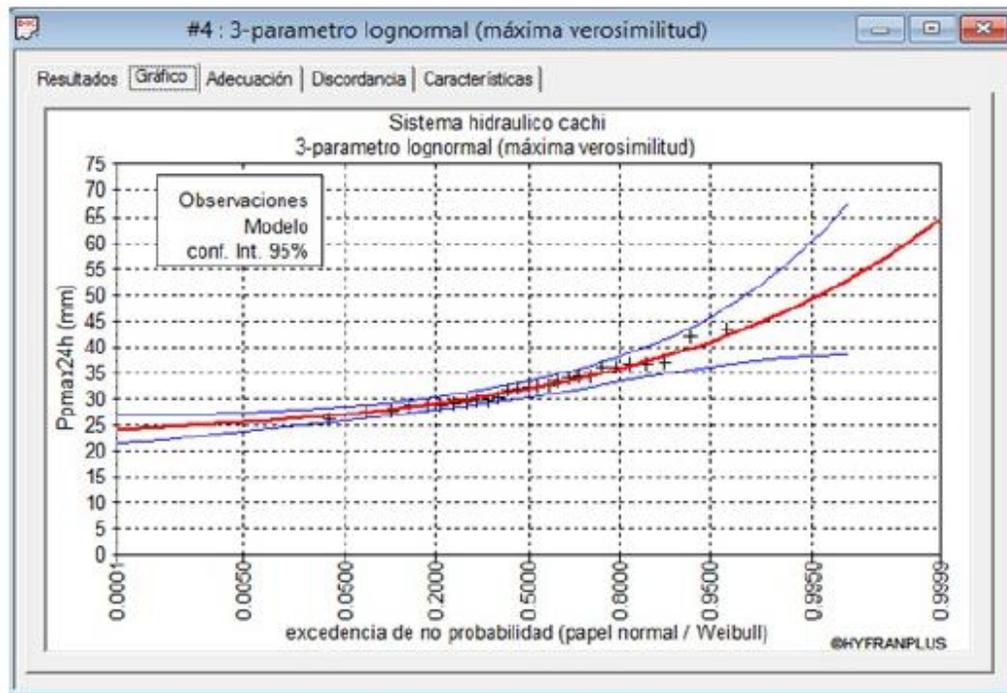


Figura 35. Log - Normal III

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

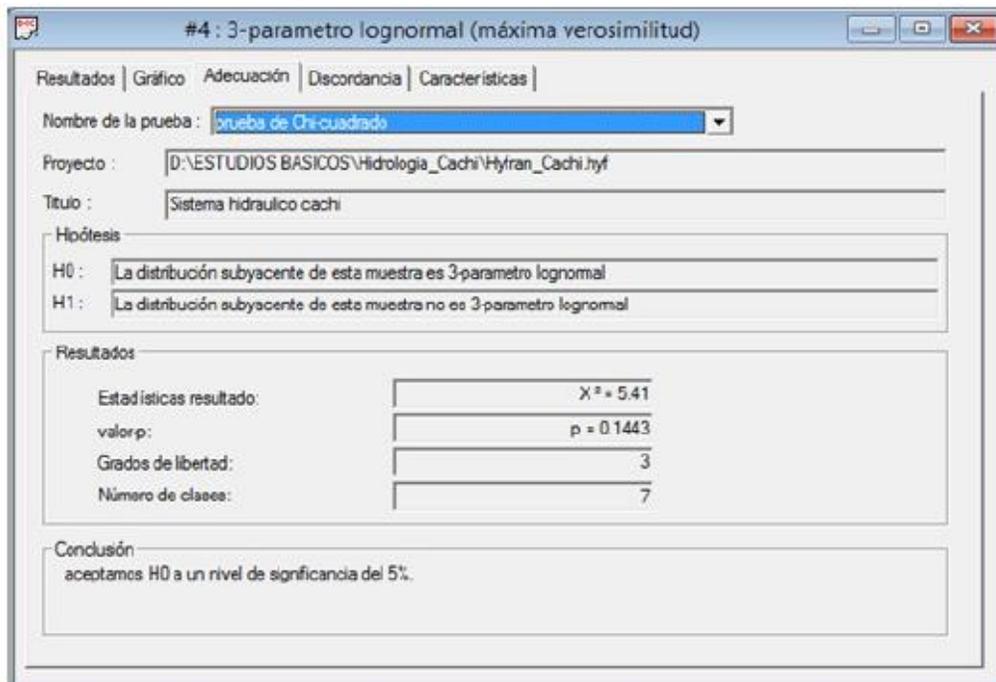


Figura 36. Prueba Chi- Cuadrado Log Normal III

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

Tabla 13. Función de distribución de Probabilidades – Gamma

T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	50.3	2.97	44.5	56.2
2000	0.9995	48	2.59	42.9	53.1
1000	0.999	47	2.42	42.2	51.7
500	0.998	45.9	2.25	41.4	50.3
200	0.995	44.3	2.02	40.4	48.3
100	0.99	43.1	1.84	39.5	46.7
50	0.98	41.7	1.65	38.5	45
25	0.96	40.3	1.45	37.4	43.1
20	0.95	39.8	1.39	37.1	42.5
10	0.9	38.1	1.19	35.8	40.4
5	0.8	36.1	0.988	34.2	38.1
3	0.6667	34.4	0.86	32.7	36.1
2	0.5	32.5	0.792	31	34.1
1.4286	0.3	30.4	0.807	28.8	32
1.25	0.2	29.2	0.857	27.5	30.9
1.1111	0.1	27.5	0.957	25.7	29.4
1.0526	0.05	26.2	1.05	24.1	28.3
1.0204	0.02	24.8	1.17	22.5	27.1
1.0101	0.01	23.9	1.24	21.4	26.3
1.005	0.005	23	1.3	20.5	25.6
1.001	0.001	21.4	1.42	18.6	24.2
1.0005	0.0005	20.8	1.47	18	23.7
1.0001	0.0001	19.6	1.55	16.5	22.6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se aprecia los resultados obtenidos para distribución Gamma, al realizar la adecuación con la prueba Chi – cuadrado aceptamos H0 a un nivel de significancia de 5% como se puede ver en la figura 38.

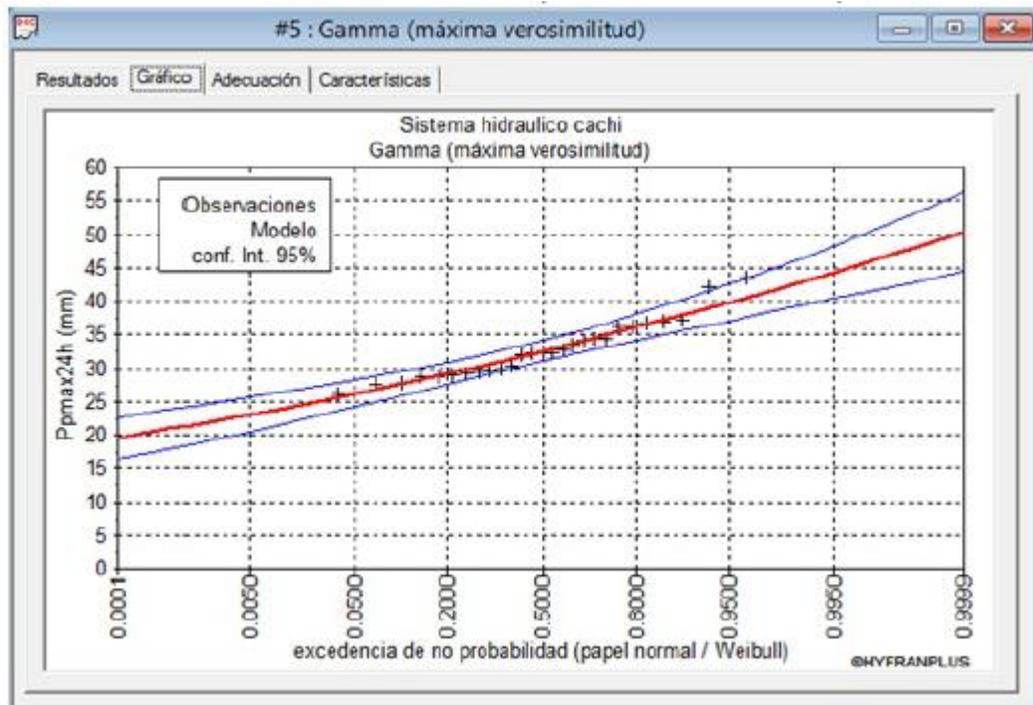


Figura 37. Gamma (Máxima verosimilitud)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

#5 : Gamma (máxima verosimilitud)

Resultados | Gráfico | Adecuación | Características

Nombre de la prueba: prueba de Chi-cuadrado

Proyecto: D:\ESTUDIOS BASICOS\Hidrologia\_Cachi\Hyfran\_Cachi.hyf

Título: Sistema hidraulico cachi

Hipótesis

H0: La distribución subyacente de esta muestra es Gamma

H1: La distribución subyacente de esta muestra no es Gamma

Resultados

Estadísticas resultado:	X <sup>2</sup> = 6.44
valor-p:	p = 0.1683
Grados de libertad:	4
Número de clases:	7

Conclusión  
aceptamos H0 a un nivel de significancia del 5%.

Figura 38. Prueba Chi - Cuadrado Gamma

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

Tabla 14. Función de Distribución de Probabilidades Log-Pearson III

T	q	XT	Desviación estándar	Intervalo de confianza (95%)	
10000	0.9999	59.2	12.4	N/D	N/D
2000	0.9995	54.3	9.01	N/D	N/D
1000	0.999	52.2	7.7	N/D	N/D
500	0.998	50.1	6.48	N/D	N/D
200	0.995	47.4	5.02	37.6	57.3
100	0.99	45.4	4.03	37.5	53.3
50	0.98	43.3	3.14	37.1	49.5
25	0.96	41.2	2.37	36.6	45.8
20	0.95	40.5	2.14	36.3	44.7
10	0.9	38.3	1.55	35.2	41.3
5	0.8	35.9	1.14	33.7	38.1
3	0.6667	34	0.953	32.1	35.8
2	0.5	32.1	0.851	30.4	33.8
1.4286	0.3	30.2	0.754	28.7	31.7
1.25	0.2	29.1	0.712	27.7	30.5
1.1111	0.1	27.9	0.728	26.4	29.3
1.0526	0.05	26.9	0.85	25.2	28.6
1.0204	0.02	26	1.1	23.8	28.1
1.0101	0.01	25.4	1.33	22.8	28
1.005	0.005	24.9	1.56	21.9	28
1.001	0.001	24	2.08	N/D	N/D
1.0005	0.0005	23.7	2.3	N/D	N/D
1.0001	0.0001	23.1	2.77	N/D	N/D

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se aprecia los resultados obtenidos para distribución Gumbel I, al realizar la adecuación con la prueba Chi – cuadrado aceptamos H0 a un nivel de significancia de 5% como se puede ver en la figura 40.

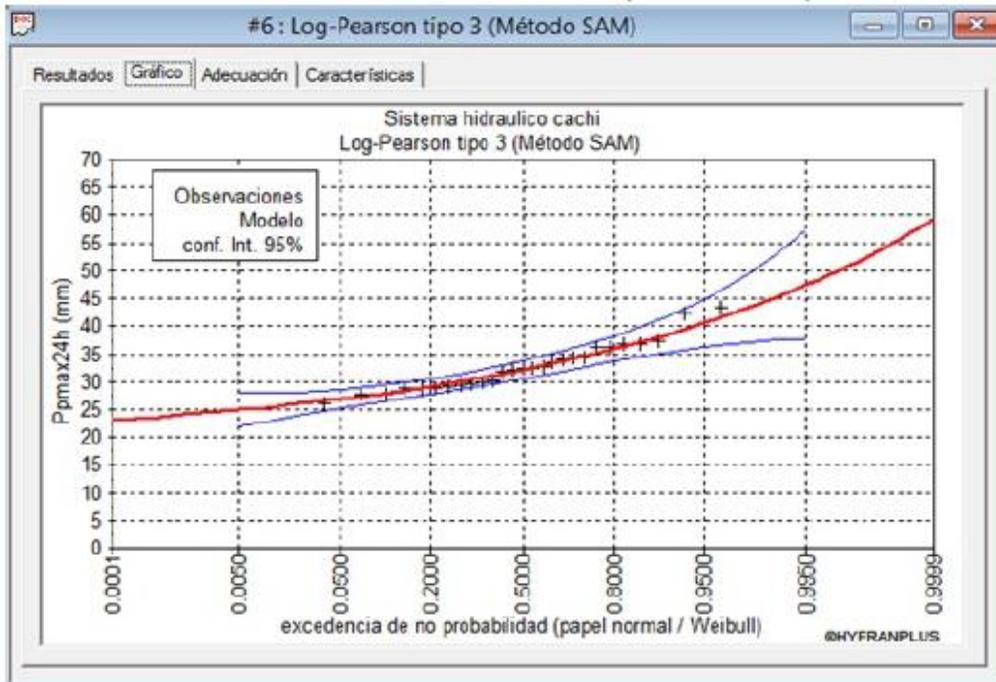


Figura 39. Log-Pearson III (Método SAM)

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

#6: Log-Pearson tipo 3 (Método SAM)

Resultados | Gráfico | Adecuación | Características

Nombre de la prueba: prueba de Chi-cuadrado

Proyecto: D:\ESTUDIOS BASICOS\Hidrologia\_Cachi\Hyfran\_Cachi.tyf

Título: Sistema hidraulico cachi

Hipótesis

H0: La distribución subyacente de esta muestra es Log-Pearson tipo 3

H1: La distribución subyacente de esta muestra no es Log-Pearson tipo 3

Resultados

Estadísticas resultado:	$\chi^2 = 6.44$
valor p:	$p = 0.0919$
Grados de libertad:	3
Número de clases:	7

Conclusión  
aceptamos H0 a un nivel de significancia del 5%.

Figura 40. Prueba Chi-Cuadrado Log-Pearson III

Fuente: Elaboración propia usando el software Hyfran

### 5.2.5.- Prueba de ajuste de la serie de datos pluviométricos

Por el ajuste de Chi cuadrado el que se ajusta más a estos datos es el Método Gumbel.

Tabla 15. Función de distribución de probabilidades Teóricas

T	Gumbel	Log Normal	Log Normal III	Gamma	Log Pearson III
10000	62.4	52.1	64.9	50.3	59.2
2000	56.8	49.4	58.2	48	54.3
1000	54.5	48.1	55.5	47	52.2
500	52.1	46.8	52.8	45.9	50.1
200	48.9	45.1	49.4	44.3	47.4
100	46.5	43.7	46.8	43.1	45.4
50	44.1	42.2	44.3	41.7	43.3
25	41.7	40.6	41.8	40.3	41.2
20	40.9	40	41	39.8	40.5
10	38.4	38.2	38.4	38.1	38.3
5	35.9	36.1	35.8	36.1	35.9
3	33.8	34.3	33.8	34.4	34
2	32	32.4	31.9	32.5	32.1
1.4286	30.1	30.3	30.1	30.4	30.2
1.25	29.1	29.1	29.1	29.2	29.1
1.1111	27.8	27.6	28	27.5	27.9
1.0526	26.9	26.3	27.2	26.2	26.9
1.0204	26	25	26.4	24.8	26
1.0101	25.5	24.1	25.9	23.9	25.4
1.005	25	23.4	25.6	23	24.9
1.001	24.1	21.9	24.9	21.4	24
1.0005	23.7	21.3	24.7	20.8	23.7
1.0001	23.1	20.2	24.2	19.6	23.1

Fuente: Elaboración propia

Se hizo la extrapolación de resultados para diferentes periodos de retorno, con la finalidad de obtener precipitaciones máximas en 24 horas, para luego aplicar modelos lluvia – escorrentía y obtener caudales máximos.

### 5.2.6.- Selección del periodo de retorno

En términos más generales, el análisis de frecuencia da respuesta a la siguiente interrogante:

Dado N años de registro de datos para un cauce S y n años de vida útil de una cierta estructura, cual es la probabilidad p de que la descarga  $Q_T$  sea excedido por lo menos una vez durante la vida de diseño. Por tanto, es de gran importancia determinar el periodo de retorno T.

Un evento extremo ocurre si una variable aleatoria X es mayor o igual que un cierto nivel  $X_T$ .

El intervalo de recurrencia t es el tiempo entre ocurrencias. El periodo de retorno T de un evento es el valor esperado de t, E(t).

La probabilidad de que una observación X exceda el valor  $X_T$ , se relaciona con el periodo de retorno por la expresión:

$$P(X \geq X_T) = 1 - F(X) = \frac{1}{T}$$

Hay tres formas de uso común, para la selección de la magnitud del evento hidrológico que debe ser considerado en el diseño de una estructura. Para la presenta tesis presentaremos tiempo de retorno de 5,10,25,50,100,200,500.

Tabla 16. Datos de intensidad

PERIODO DE RETORNO	INTENSIDAD
5.00	12.283
10.00	13.226
25.00	14.584
50.00	15.704
100.00	16.909
200.00	18.207
500.00	20.077

Fuente: Elaboración Propia

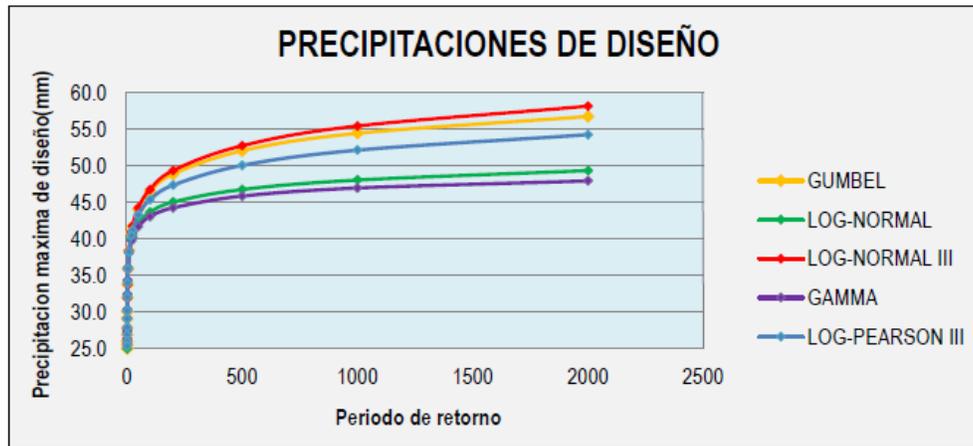


Figura 41. Precipitaciones de Diseño

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

### 5.2.1.- Curvas de Intensidad -Duración - Frecuencia

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$I = \frac{P}{T_d}$$

Donde “P” vendría a ser la precipitación en un determinado periodo de retorno y “T<sub>d</sub>” vendría a ser el periodo de retorno.

#### - Método de Dyck Peschke

En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; en la tabla 6.14 se muestran cocientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrían usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información.

Se puede establecer como un procedimiento lo siguiente:

- Seleccionar las lluvias mayores para diferentes tiempos de duración.
- Ordenar de mayor a menor.
- Asignar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
- Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
- Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración.

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviógrafos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dyck Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = Pp_{max.24h} * \left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25}$$

Tabla 17. Coeficientes de Duración de Lluvias entre 48 horas y una hora

Duración de la precipitación en horas	Coeficientes
1.00	0.25
2.00	0.31
3.00	0.38
4.00	0.44
5.00	0.50
6.00	0.56
8.00	0.64
10.00	0.73
12.00	0.79
14.00	0.83
16.00	0.87
18.00	0.90
20.00	0.93
22.00	0.97
24.00	1.00
40.00	1.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Precipitaciones en función de los periodos de retorno para la cuenca Chicllarazo

T (años)	500	200	100	50	25	10	5	Duracion (hr)
PRECIPITACION (mm/hr)	112.71	104.16	97.68	91.17	84.61	75.78	68.78	1
	79.70	73.65	69.07	64.47	59.83	53.58	48.64	2
	65.08	60.14	56.39	52.64	48.85	43.75	39.71	3
	56.36	52.08	48.84	45.58	42.31	37.89	34.39	4
	50.41	46.58	43.68	40.77	37.84	33.89	30.76	5
	46.02	42.52	39.88	37.22	34.54	30.94	28.08	6
	42.60	39.37	36.92	34.46	31.98	28.64	26.00	7
	39.85	36.83	34.53	32.23	29.92	26.79	24.32	8
	37.57	34.72	32.56	30.39	28.20	25.26	22.93	9
	35.64	32.94	30.89	28.83	26.76	23.96	21.75	10
	33.98	31.41	29.45	27.49	25.51	22.85	20.74	11
	32.54	30.07	28.20	26.32	24.43	21.87	19.86	12
	31.26	28.89	27.09	25.29	23.47	21.02	19.08	13
	30.12	27.84	26.11	24.37	22.61	20.25	18.38	14
	29.10	26.89	25.22	23.54	21.85	19.57	17.76	15
	28.18	26.04	24.42	22.79	21.15	18.94	17.20	16
	27.34	25.26	23.69	22.11	20.52	18.38	16.68	17
	26.57	24.55	23.02	21.49	19.94	17.86	16.21	18
	25.86	23.90	22.41	20.92	19.41	17.38	15.78	19
	25.20	23.29	21.84	20.39	18.92	16.94	15.38	20
	24.60	22.73	21.31	19.89	18.46	16.54	15.01	21
	24.03	22.21	20.82	19.44	18.04	16.16	14.66	22
	23.50	21.72	20.37	19.01	17.64	15.80	14.34	23
	23.01	21.26	19.94	18.61	17.27	15.47	14.04	24

Fuente: Elaboración Propia

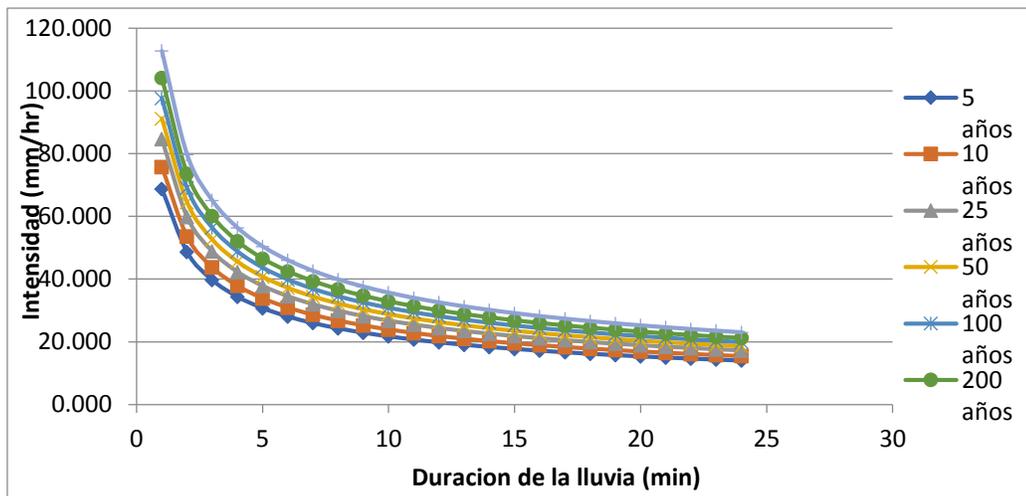


Figura 42. Curvas IDF

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

En la tabla 18 se puede observar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno con el método Dyck Peschke para así obtener las curvas de intensidad – duración y frecuencia (figura 42).

### 5.2.2.- Hietogramas de diseño

Los métodos hidrológicos más modernos requieren no solo del valor de la lluvia o intensidad de diseño, sino de una distribución temporal (tormenta), es decir el método estudia la distribución en el tiempo, de las tormentas observadas.

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas el bloque alterno, es una manera sencilla.

- Bloque alterno

El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva intensidad - duración - frecuencia.

Tabla 19. Datos hietograma para 500 años

Periodo de Retorno	Tr	500	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	112.715	1.879	1.879	0.231
2	79.701	2.657	0.778	0.247
3	65.076	3.254	0.597	0.266
4	56.357	3.757	0.503	0.290
5	50.408	4.201	0.443	0.322
6	46.016	4.602	0.401	0.369
7	42.602	4.970	0.369	0.443
8	39.851	5.313	0.343	0.597
9	37.572	5.636	0.322	1.879
10	35.643	5.941	0.305	0.778
11	33.985	6.231	0.290	0.503
12	32.538	6.508	0.277	0.401
13	31.261	6.773	0.266	0.343
14	30.124	7.029	0.256	0.305
15	29.103	7.276	0.247	0.277
16	28.179	7.514	0.239	0.256
17	27.337	7.746	0.231	0.239
18	26.567	7.970	0.225	0.225
19	25.859	8.189	0.218	0.218
20	25.204	8.401	0.213	0.213
21	24.596	8.609	0.207	0.207
22	24.031	8.811	0.203	0.203
23	23.503	9.009	0.198	0.198
24	23.008	9.203	0.194	0.194

Fuente: Elaboración propia

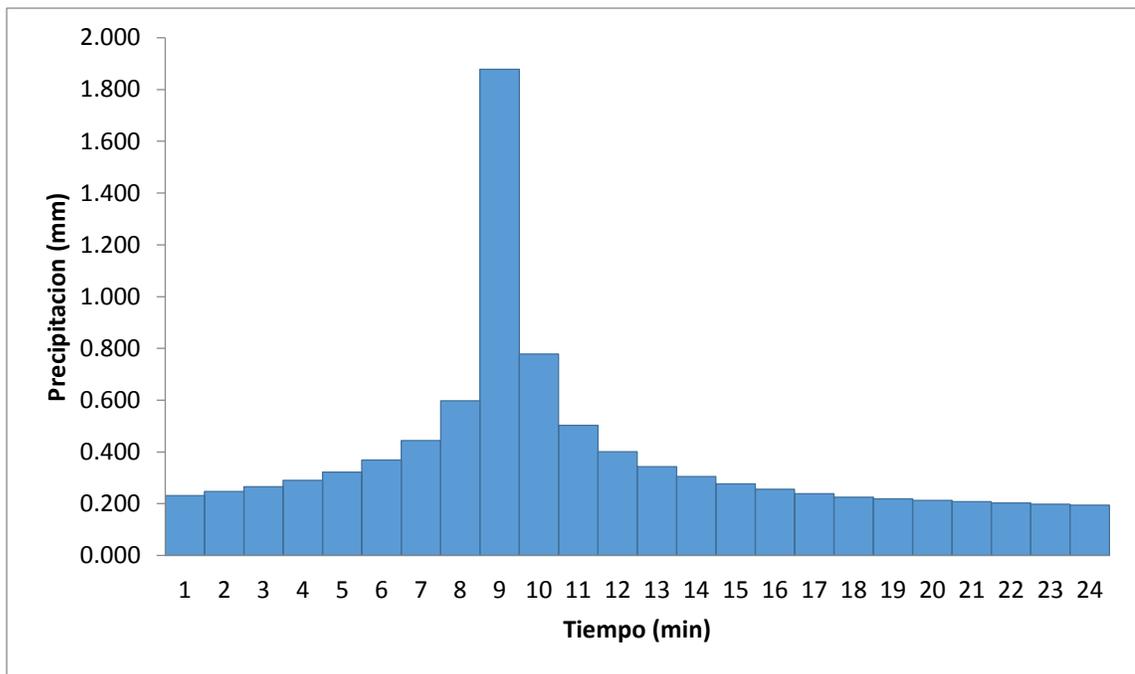


Figura 43. Hietograma de diseño de 500 años

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Tabla 20. Datos Hietograma para 200 años

Periodo de Retorno	Tr	200	años
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr
t (min)	Intensidad Precipitacio	$\Delta$ Precipitaci	Hietogram:
1	104.161	1.736	0.214
2	73.653	2.455	0.228
3	60.137	3.007	0.246
4	52.080	3.472	0.268
5	46.582	3.882	0.298
6	42.523	4.252	0.341
7	39.369	4.593	0.410
8	36.826	4.910	0.552
9	34.720	5.208	1.736
10	32.939	5.490	0.719
11	31.406	5.758	0.465
12	30.069	6.014	0.371
13	28.889	6.259	0.317
14	27.838	6.496	0.282
15	26.894	6.724	0.256
16	26.040	6.944	0.236

17	25.263	7.158	0.214	0.221
18	24.551	7.365	0.208	0.208
19	23.896	7.567	0.202	0.202
20	23.291	7.764	0.197	0.197
21	22.730	7.955	0.192	0.192
22	22.207	8.143	0.187	0.187
23	21.719	8.326	0.183	0.183
24	21.262	8.505	0.179	0.179

Fuente: Elaboración Propia

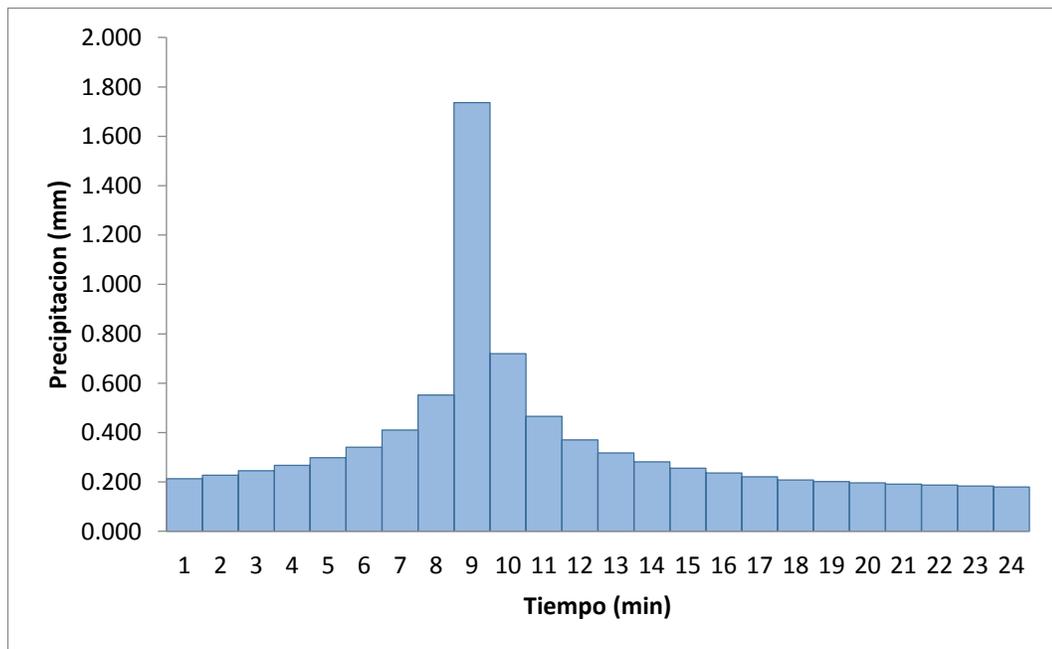


Figura 44. Hietograma de diseño de 200 años

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Tabla 21. Datos Hietograma para 100 años

Periodo de Retorno	Tr	100	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	97.677	1.628	1.628	0.200
2	69.068	2.302	0.674	0.214
3	56.394	2.820	0.517	0.230
4	48.839	3.256	0.436	0.251
5	43.683	3.640	0.384	0.279
6	39.877	3.988	0.347	0.320
7	36.918	4.307	0.320	0.384
8	34.534	4.605	0.297	0.517
9	32.559	4.884	0.279	1.628
10	30.888	5.148	0.264	0.674
11	29.451	5.399	0.251	0.436
12	28.197	5.639	0.240	0.347
13	27.091	5.870	0.230	0.297
14	26.105	6.091	0.222	0.264
15	25.220	6.305	0.214	0.240
16	24.419	6.512	0.207	0.222
17	23.690	6.712	0.200	0.207
18	23.023	6.907	0.195	0.195
19	22.409	7.096	0.189	0.189
20	21.841	7.280	0.184	0.184
21	21.315	7.460	0.180	0.180
22	20.825	7.636	0.176	0.176
23	20.367	7.807	0.172	0.172
24	19.938	7.975	0.168	0.168

Fuente: Elaboración propia

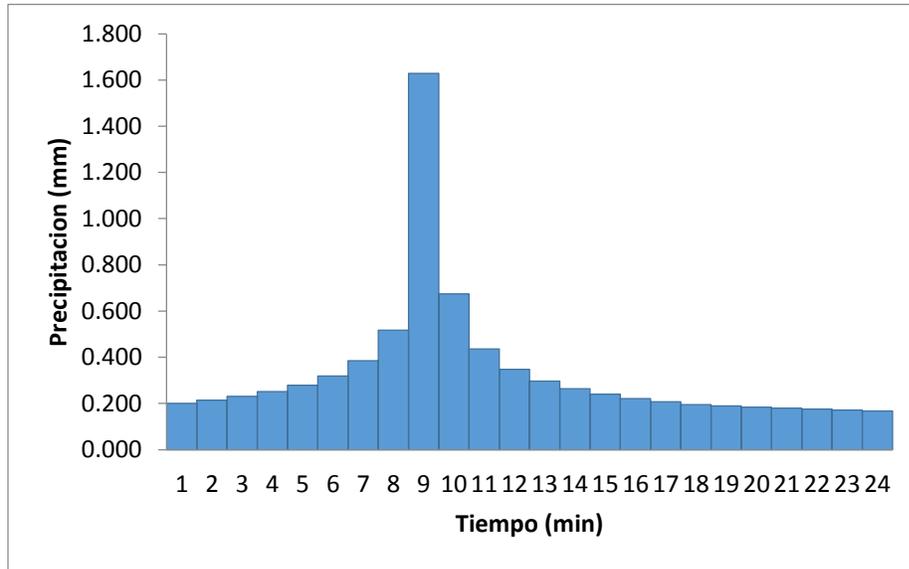


Figura 45. Hietograma de diseño de 100 años

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Tabla 22. Datos Hietograma para 50 años

Periodo de Retorno		Tr	50	años
Intervalo de Tiempo		$\Delta t$	1	hr
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación (mm)	$\Delta$ Precipitación	Hietograma
1	91.170	1.519	1.519	0.187
2	64.467	2.149	0.629	0.200
3	52.637	2.632	0.483	0.215
4	45.585	3.039	0.407	0.235
5	40.772	3.398	0.359	0.261
6	37.220	3.722	0.324	0.298
7	34.459	4.020	0.298	0.359
8	32.233	4.298	0.278	0.483
9	30.390	4.558	0.261	1.519
10	28.830	4.805	0.247	0.629
11	27.489	5.040	0.235	0.407
12	26.318	5.264	0.224	0.324
13	25.286	5.479	0.215	0.278
14	24.366	5.685	0.207	0.247
15	23.540	5.885	0.200	0.224

16	22.792	6.078	0.193	0.207
17	22.112	6.265	0.187	0.193
18	21.489	6.447	0.182	0.182
19	20.916	6.623	0.177	0.177
20	20.386	6.795	0.172	0.172
21	19.895	6.963	0.168	0.168
22	19.437	7.127	0.164	0.164
23	19.010	7.287	0.160	0.160
24	18.610	7.444	0.157	0.157

Fuente: Elaboración propia

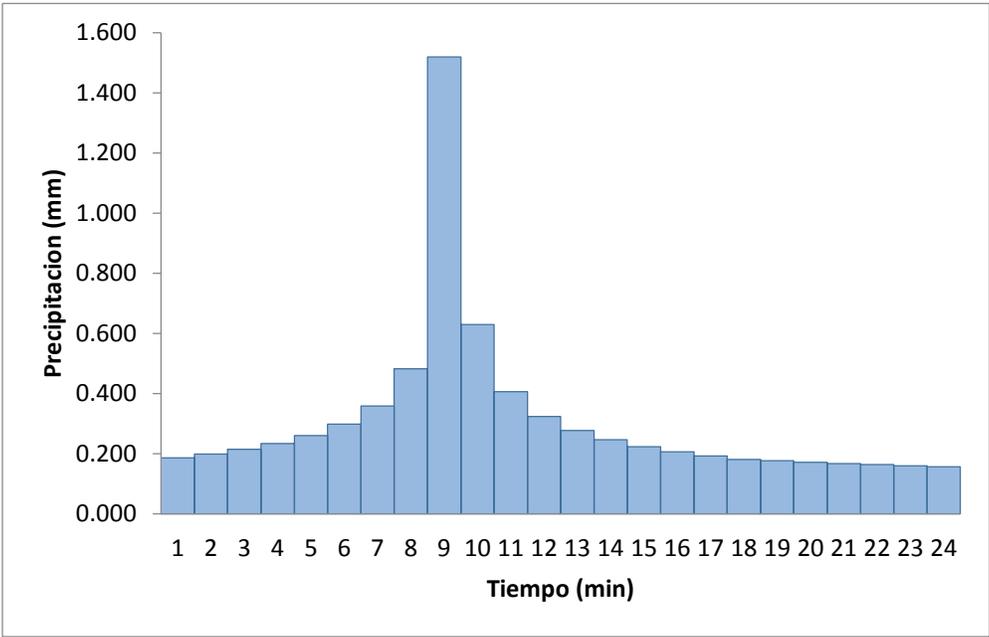


Figura 46. Hietograma de diseño de 50 años

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Tabla 23. Datos Hietograma para 25 años.

Periodo de Retorno		Tr	25	años
Intervalo de Tiempo		$\Delta t$	1	hr
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	84.614	1.410	1.410	0.174
2	59.831	1.994	0.584	0.185
3	48.852	2.443	0.448	0.199
4	42.307	2.820	0.378	0.218
5	37.841	3.153	0.333	0.242
6	34.544	3.454	0.301	0.277
7	31.981	3.731	0.277	0.333
8	29.916	3.989	0.258	0.448
9	28.205	4.231	0.242	1.410
10	26.757	4.460	0.229	0.584
11	25.512	4.677	0.218	0.378
12	24.426	4.885	0.208	0.301
13	23.468	5.085	0.199	0.258
14	22.614	5.277	0.192	0.229
15	21.847	5.462	0.185	0.208
16	21.154	5.641	0.179	0.192
17	20.522	5.815	0.174	0.179
18	19.944	5.983	0.169	0.169
19	19.412	6.147	0.164	0.164
20	18.920	6.307	0.160	0.160
21	18.464	6.463	0.156	0.156
22	18.040	6.615	0.152	0.152
23	17.643	6.763	0.149	0.149
24	17.272	6.909	0.145	0.145

Fuente: Elaboración Propia

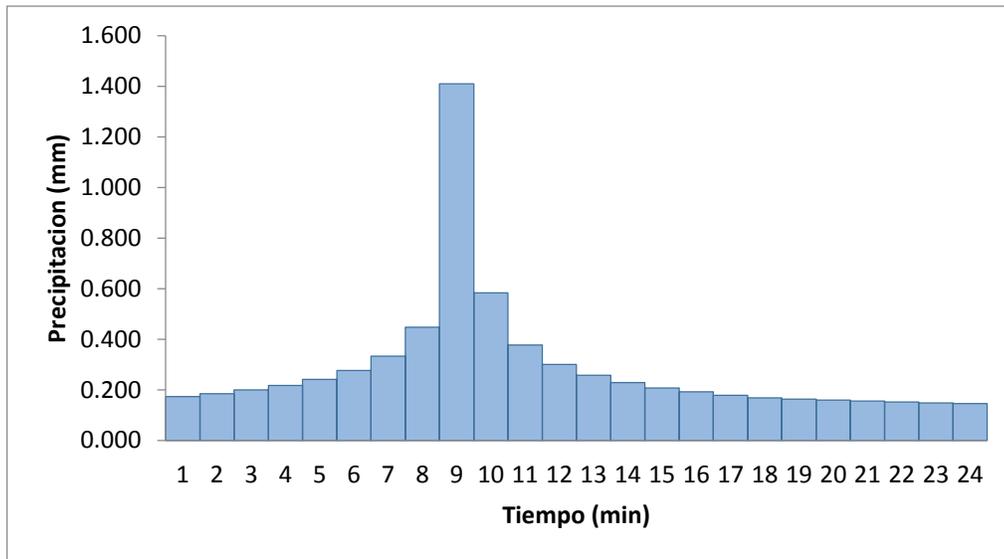


Figura 47. Hietograma de diseño de 25 años

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

5.2.3.- Resultados del software HEC-HMS para el método convencional

El método del hidrograma unitario del Servicio de Conservación del Suelo (SCS), se basa en un hidrograma pico adimensional que expresa la descarga del hidrograma unitario como una proporción en la descarga pico del hidrograma para cualquiera tiempo.

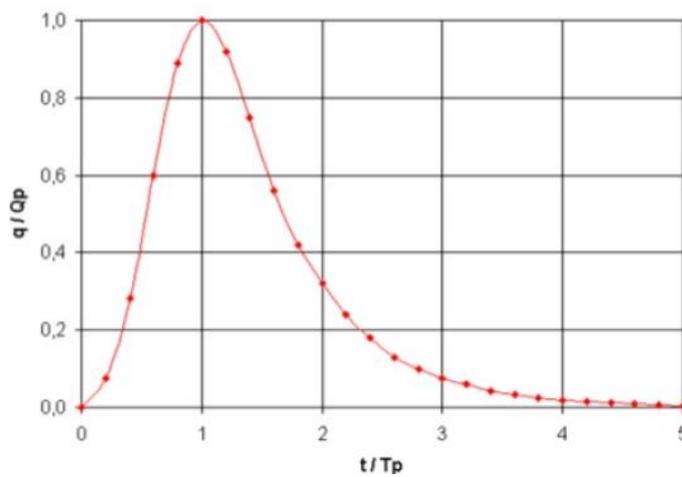


Figura 48. Hietograma unitario de SCS

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 24. Parámetros HEC-HMS de la subcuenca Chicllarazo

Cuenca	Area (km <sup>2</sup> )	NC	L(m)	J(m/m)	Tc (Hr)	Tlag (Hr)	Tlag (min)
Chicllarazo	98.67	78	22054	0.04861	2.33	0.82	48.97

Fuente: Elaboración Propia

- Resultados para periodo de retorno de 25 años

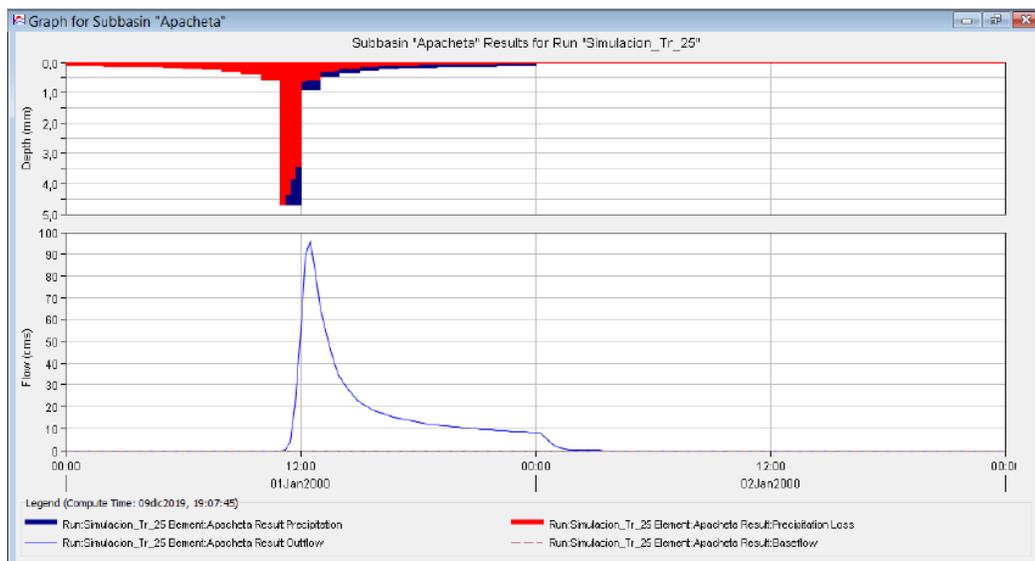


Figura 49. Resultado para 25 años de retorno

Fuente: Elaboración propia usando el software HEC-HMS

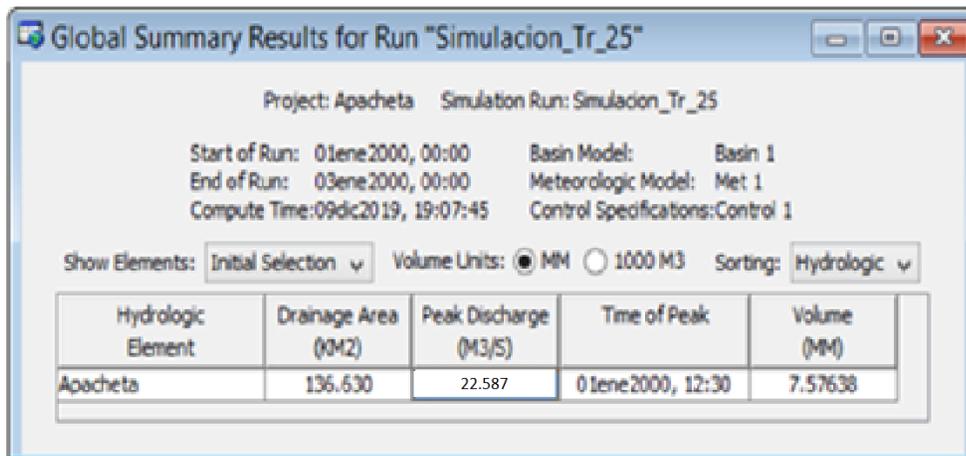


Figura 50. Corrido para 25 años de retorno

Fuente: Elaboración propia usando el software HEC-HMS

- Resultados para periodo de retorno de 100 años

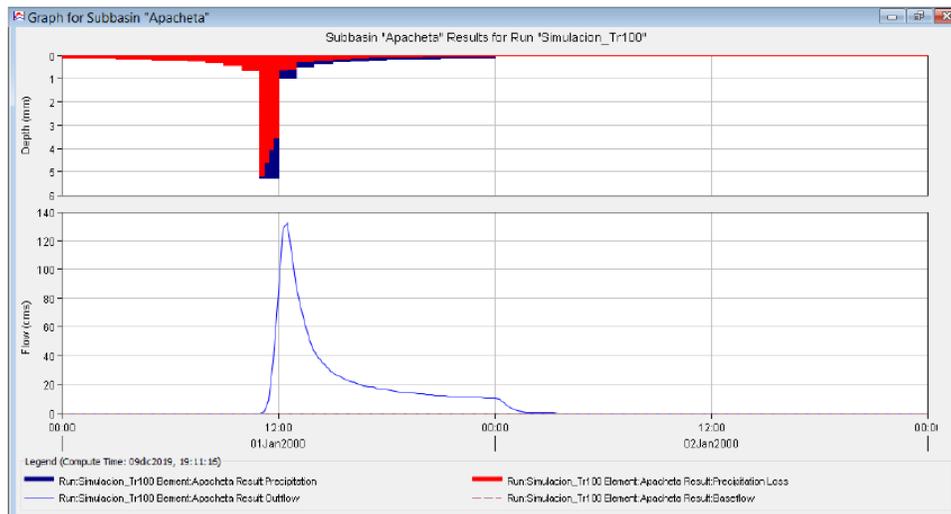


Figura 51. Resultado para 100 años de retorno

Fuente: Elaboración propia usando el software HEC-HMS

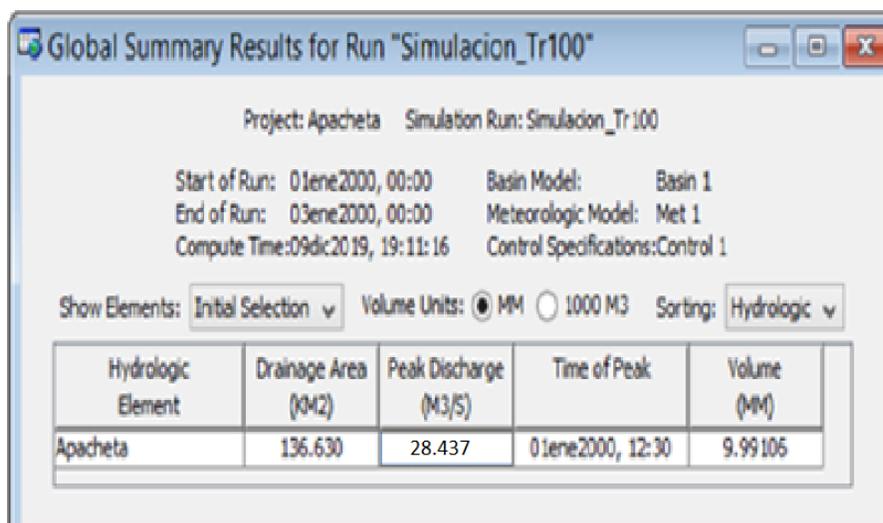


Figura 52. Corrido para 100 años de retorno

Fuente: Elaboración propia usando el software HEC-HMS

- Resumen de caudales para la cuenca Chicllarazo (m3/s)

Tabla 25. Caudales para la subcuena Jauccalla

Subcuena	Tr= 25años	Tr=50años	Tr=100años	Tr=200años	Tr=500
Jauccalla	22.587	25.475	28.437	31.496	35.705

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 25 se observa el resumen de caudales máximos de la subcuena Jauccalla en m<sup>3</sup>/s, los cuales fueron obtenidos aplicando el método racional.

### 5.3.- Método Pisco

#### 5.3.1.- Grillado de la zona de estudio

Para realizar este procedimiento se necesitó la ayuda del software ArcGis y el Civil3D, con los cuales inicialmente se hizo la delimitación y posteriormente se realizó el grillado con una equidistancia admisible para así insertar el área delimitada al software Rstudio para obtener las precipitaciones con las cuales se procedió a realizar los respectivos cálculos.

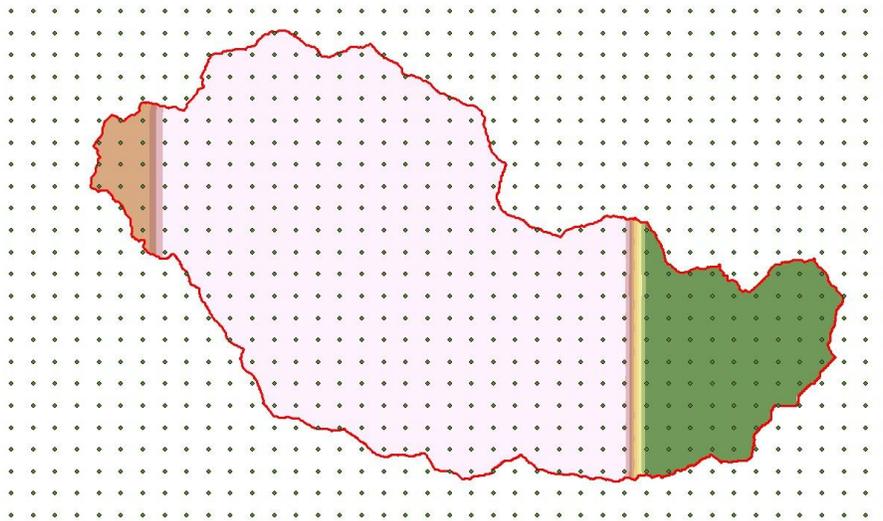


Figura 53. Grillado de la Zona de Estudio

Fuente: Elaboración Propia usando el software Arcgis

Luego de tener el área delimitada con el grillado respectivo, se obtuvo las siguientes precipitaciones en 24 horas, ver tabla 26.

Tabla 26. Precipitaciones en 24 horas

Año	Precipitación
1981	39.11
1982	18.40
1983	17.87
1984	28.90
1985	21.04
1986	37.54
1987	27.85

1988	16.19
1989	21.60
1990	23.47
1991	11.94
1993	18.91
1994	17.74
1995	17.45
1996	17.30
1997	24.43
1998	15.10
1999	20.64
2000	19.83
2001	14.20
2002	25.46
2003	11.39
2004	15.11
2005	12.89
2006	22.73
2007	15.69
2008	19.50
2009	26.79
2010	16.96
2011	32.38
2012	26.32
2013	13.41
2014	18.61
2015	20.65
2016	28.64
Years of records	35
Average	21.03
Maximun	39.11
Estándar deviation	8.606883922

---

Fuente: Elaboración Propia

Luego de obtener las precipitaciones necesarias para realizar los respectivos cálculos, se procedió a realizar el ajuste de los datos, como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Ajuste de datos para PISCO

Parámetros estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	35	35
Sumatoria	735.99	2.87
Valor Máximo	39.11	1.59
Valor Mínimo	11.39	1.06
Media:	27.675	1.435
Varianza:	60.629	0.012
Desviación Estándar:	7.786	0.110
Coeficiente Variación:	0.281	0.077
Coeficiente de Sesgo:	0.552	0.3671
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Valores  $K_n$  para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	$K_n$						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Elaboración propia, adaptada de U.S Water Resources Council, 1981.

Luego de hizo el cálculo de para ver si se tiene datos dudosos dentro de nuestras precipitaciones

Umbral de datos dudosos altos:

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

Donde:  $\bar{X}$  es la media,  $K_n$  es el coeficiente para los datos dudosos y  $S$  la desviación estándar.

$$X_L = 1.345 + 2.628 * 0.110 = 1.72$$

Umbral de datos dudosos bajos:

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

Donde:  $\bar{X}$  es la media,  $K_n$  es el coeficiente para los datos dudosos y  $S$  la desviación estándar

$$X_L = 1.345 - 2.628 * 0.110 = 1.15$$

Luego se procedió a hallar la tendencia de nuestras precipitaciones como se muestra en la figura 52 obtenidas con la ayuda del software Rstudio.

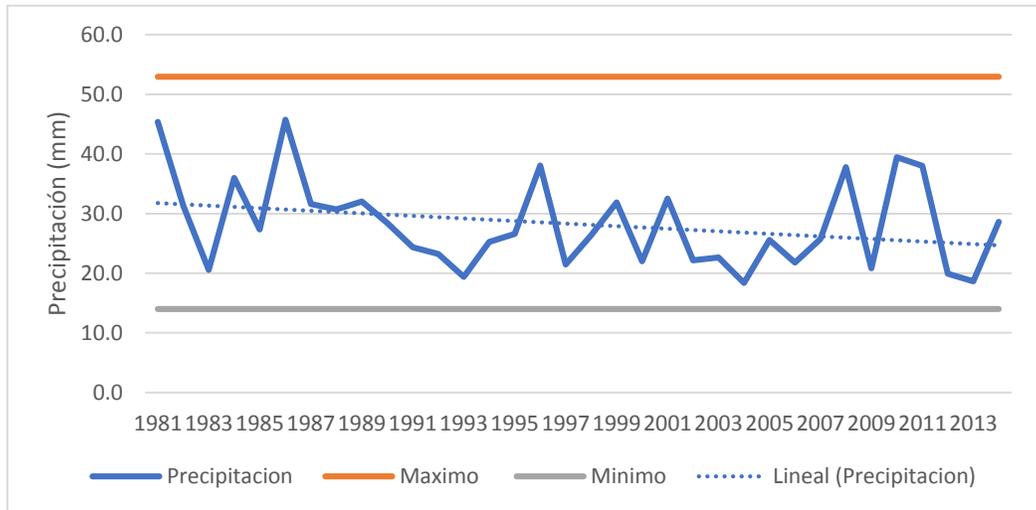


Figura 54. Gráfico de precipitaciones en 24 horas

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Para obtener las precipitaciones para diferentes periodos de retorno se usó la metodología de Dyck Peschke (tabla 29) y posteriormente se obtiene las curvas IDF (figura 55).

Tabla 29. Precipitaciones en 24 horas por el método Dyck Peschke

T (años)	500	200	100	50	25	10	5	Duracion (hr)
PRECIPITACION (mm/hr)	80.190283	72.5468863	66.7534063	60.9387095	55.0807585	47.1844254	40.9348674	1
	56.7030929	51.2983952	47.2017863	43.0901747	38.9479779	33.3644272	28.9453223	2
	46.2978815	41.8849643	38.5400971	35.1829804	31.8008908	27.2419407	23.6337567	3
	40.0951415	36.2734431	33.3767032	30.4693548	27.5403793	23.5922127	20.4674337	4
	35.8621848	32.4439539	29.8530309	27.2526194	24.6328641	21.1015165	18.3066292	5
	32.7375459	29.6171423	27.251964	24.878124	22.4866255	19.262961	16.7115896	6
	30.309078	27.4201456	25.230416	23.0326672	20.8185699	17.8340365	15.4719256	7
	28.3515464	25.6491976	23.6008931	21.5450874	19.4739889	16.6822136	14.4726612	8
	26.7300943	24.1822954	22.2511354	20.3129032	18.3602528	15.7281418	13.6449558	9
	25.358394	22.9413398	21.1092806	19.270512	17.4180652	14.9210254	12.9447417	10
	24.17828	21.8737092	20.1269093	18.3737122	16.6074736	14.2266396	12.3423269	11
	23.1489407	20.9424822	19.2700486	17.5914902	15.9004454	13.6209704	11.8168784	12
	22.2407829	20.120886	18.5140638	16.9013571	15.2766538	13.086605	11.3532895	13
	21.4317546	19.3889709	17.8405983	16.2865552	14.7209519	12.6105681	10.9403035	14
	20.705042	18.7315255	17.2356554	15.7343071	14.2217907	12.1829663	10.5693373	15
	20.0475707	18.1367216	16.6883516	15.2346774	13.7701896	11.7961064	10.2337169	16
	19.4490004	17.5952044	16.1900791	14.779808	13.3590462	11.4439041	9.92816365	17
	18.901031	17.0994651	15.7339288	14.3633916	12.9826593	11.1214757	9.64844078	18
	18.3969126	16.6433972	15.3142817	13.9802988	12.6363926	10.8248496	9.39110265	19
	17.9310924	16.2219769	14.9265154	13.6263097	12.316432	10.5507583	9.15331462	20
	17.4989544	15.8310285	14.5667875	13.2979166	12.0196069	10.2964858	8.9327204	21
	17.0966258	15.4670481	14.231874	12.9921765	11.7432572	10.0597533	8.72734306	22
	16.7208299	15.1270715	13.9190474	12.7065993	11.4851321	9.83863282	8.53550989	23
	16.368773	14.8085712	13.625982	12.439062	11.2433128	9.63148051	8.35579482	24

Fuente: Elaboración Propia

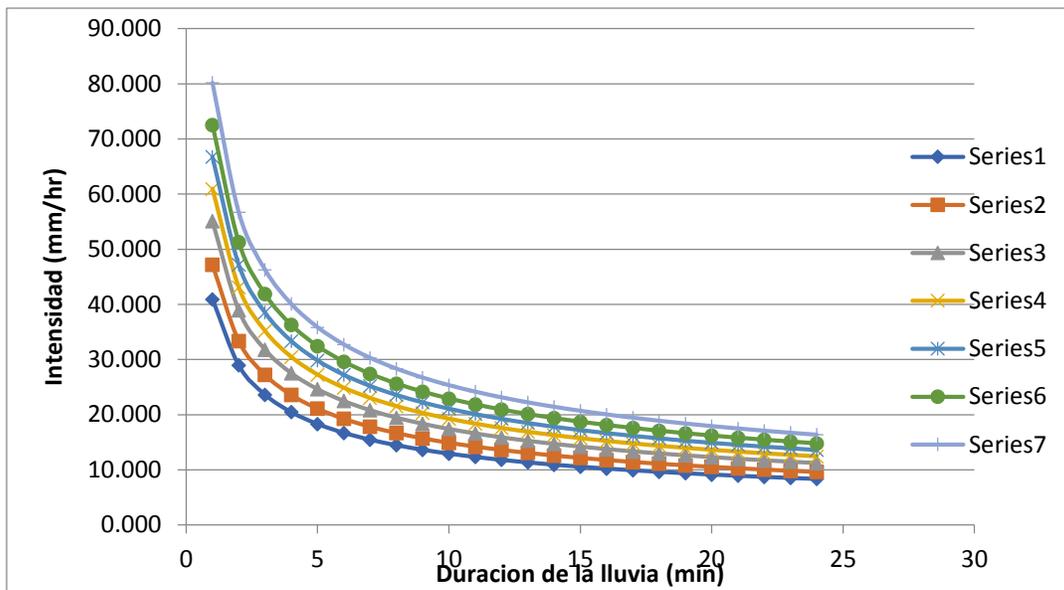


Figura 55. Curvas de intensidad duración y frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 30. Datos Hietograma para 500 años

Periodo de Retorno	Tr	500	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	80.190	1.337	1.337	0.165
2	56.703	1.890	0.554	0.176
3	46.298	2.315	0.425	0.189
4	40.095	2.673	0.358	0.206
5	35.862	2.989	0.316	0.229
6	32.738	3.274	0.285	0.262
7	30.309	3.536	0.262	0.316
8	28.352	3.780	0.244	0.425
9	26.730	4.010	0.229	1.337
10	25.358	4.226	0.217	0.554
11	24.178	4.433	0.206	0.358
12	23.149	4.630	0.197	0.285
13	22.241	4.819	0.189	0.244
14	21.432	5.001	0.182	0.217
15	20.705	5.176	0.176	0.197
16	20.048	5.346	0.170	0.182
17	19.449	5.511	0.165	0.170
18	18.901	5.670	0.160	0.160
19	18.397	5.826	0.155	0.155
20	17.931	5.977	0.151	0.151
21	17.499	6.125	0.148	0.148
22	17.097	6.269	0.144	0.144
23	16.721	6.410	0.141	0.141
24	16.369	6.548	0.138	0.138

Fuente: Elaboración Propia

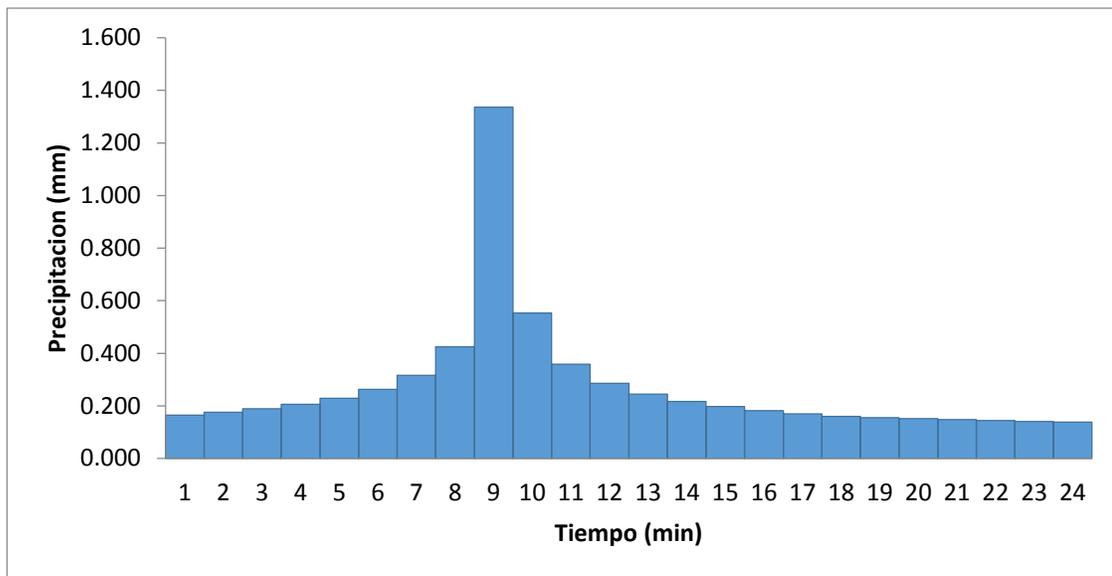


Figura 56. Hietograma tiempo de retorno de 500 años

Fuente: Elaboración propia usando el software Excel

Tabla 31. Datos hietograma para 200 años

Periodo de Retorno	Tr	200	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	72.547	1.209	1.209	0.149
2	51.298	1.710	0.501	0.159
3	41.885	2.094	0.384	0.171
4	36.273	2.418	0.324	0.187
5	32.444	2.704	0.285	0.207
6	29.617	2.962	0.258	0.237
7	27.420	3.199	0.237	0.285
8	25.649	3.420	0.221	0.384
9	24.182	3.627	0.207	1.209
10	22.941	3.824	0.196	0.501
11	21.874	4.010	0.187	0.324
12	20.942	4.188	0.178	0.258
13	20.121	4.360	0.171	0.221
14	19.389	4.524	0.165	0.196
15	18.732	4.683	0.159	0.178
16	18.137	4.836	0.154	0.165
17	17.595	4.985	0.149	0.154
18	17.099	5.130	0.145	0.145

19	16.643	5.270	0.141	0.141
20	16.222	5.407	0.137	0.137
21	15.831	5.541	0.134	0.134
22	15.467	5.671	0.130	0.130
23	15.127	5.799	0.127	0.127
24	14.809	5.923	0.125	0.125

Fuente: Elaboración Propia

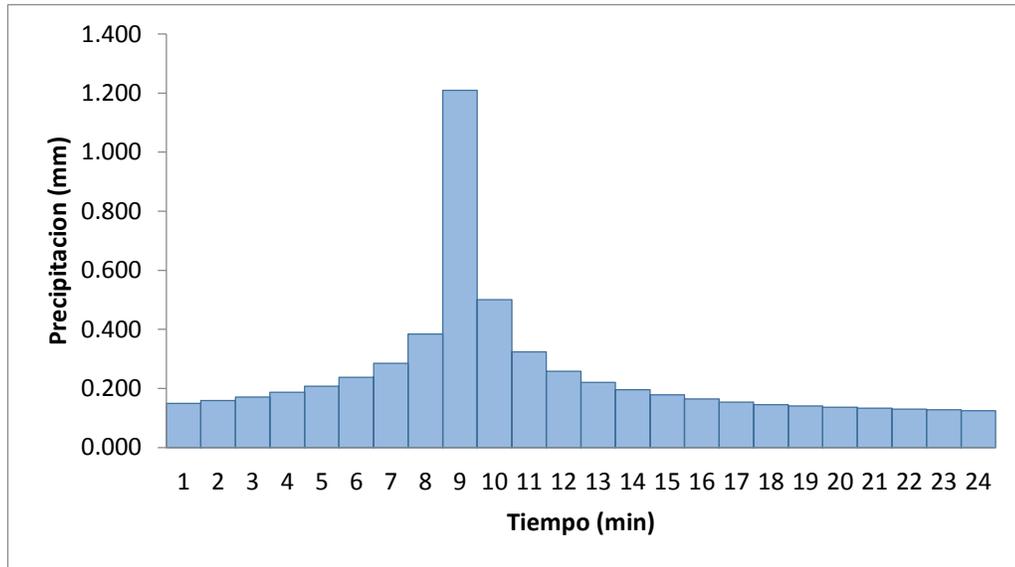


Figura 57. Hietograma tiempo de retorno de 200 años

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 32. Datos hietograma para 100 años

Periodo de Retorno	Tr	100	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	66.753	1.113	1.113	0.137
2	47.202	1.573	0.461	0.146
3	38.540	1.927	0.354	0.157
4	33.377	2.225	0.298	0.172
5	29.853	2.488	0.263	0.191
6	27.252	2.725	0.237	0.218
7	25.230	2.944	0.218	0.263
8	23.601	3.147	0.203	0.354

9	22.251	3.338	0.191	1.113
10	21.109	3.518	0.181	0.461
11	20.127	3.690	0.172	0.298
12	19.270	3.854	0.164	0.237
13	18.514	4.011	0.157	0.203
14	17.841	4.163	0.151	0.181
15	17.236	4.309	0.146	0.164
16	16.688	4.450	0.141	0.151
17	16.190	4.587	0.137	0.141
18	15.734	4.720	0.133	0.133
19	15.314	4.850	0.129	0.129
20	14.927	4.976	0.126	0.126
21	14.567	5.098	0.123	0.123
22	14.232	5.218	0.120	0.120
23	13.919	5.336	0.117	0.117
24	13.626	5.450	0.115	0.115

---

Fuente: Elaboración Propia

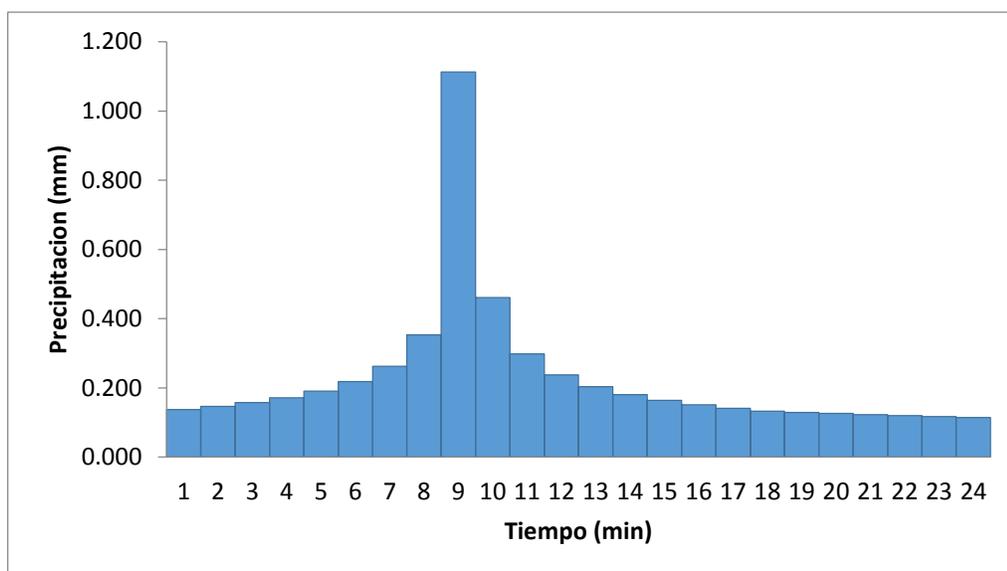


Figura 58. Hietograma tiempo de retorno de 100 años

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 33. Datos hietograma para 50 años

Periodo de Retorno	Tr	50	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	60.939	1.016	1.016	0.125
2	43.090	1.436	0.421	0.133
3	35.183	1.759	0.323	0.144
4	30.469	2.031	0.272	0.157
5	27.253	2.271	0.240	0.174
6	24.878	2.488	0.217	0.199
7	23.033	2.687	0.199	0.240
8	21.545	2.873	0.186	0.323
9	20.313	3.047	0.174	1.016
10	19.271	3.212	0.165	0.421
11	18.374	3.369	0.157	0.272
12	17.591	3.518	0.150	0.217
13	16.901	3.662	0.144	0.186
14	16.287	3.800	0.138	0.165
15	15.734	3.934	0.133	0.150
16	15.235	4.063	0.129	0.138

17	14.780	4.188	0.125	0.129
18	14.363	4.309	0.121	0.121
19	13.980	4.427	0.118	0.118
20	13.626	4.542	0.115	0.115
21	13.298	4.654	0.112	0.112
22	12.992	4.764	0.110	0.110
23	12.707	4.871	0.107	0.107
24	12.439	4.976	0.105	0.105

Fuente: Elaboración Propia

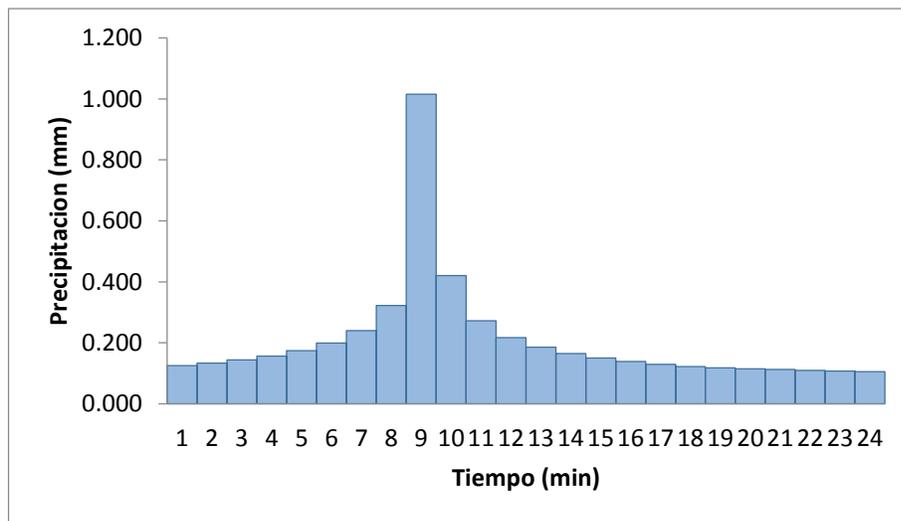


Figura 59. Hietograma tiempo de retorno de 50 años

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 34. Datos hietograma para 25 años

Periodo de Retorno	Tr	25	años	
Intervalo de Tiempo	$\Delta t$	1	hr	
t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitacion (mm)	$\Delta$ Precipitacion	Hietograma
1	55.081	0.918	0.918	0.113
2	38.948	1.298	0.380	0.121
3	31.801	1.590	0.292	0.130
4	27.540	1.836	0.246	0.142
5	24.633	2.053	0.217	0.158
6	22.487	2.249	0.196	0.180
7	20.819	2.429	0.180	0.217

8	19.474	2.597	0.168	0.292
9	18.360	2.754	0.158	0.918
10	17.418	2.903	0.149	0.380
11	16.607	3.045	0.142	0.246
12	15.900	3.180	0.135	0.196
13	15.277	3.310	0.130	0.168
14	14.721	3.435	0.125	0.149
15	14.222	3.555	0.121	0.135
16	13.770	3.672	0.117	0.125
17	13.359	3.785	0.113	0.117
18	12.983	3.895	0.110	0.110
19	12.636	4.002	0.107	0.107
20	12.316	4.105	0.104	0.104
21	12.020	4.207	0.101	0.101
22	11.743	4.306	0.099	0.099
23	11.485	4.403	0.097	0.097
24	11.243	4.497	0.095	0.095

Fuente: Elaboración Propia

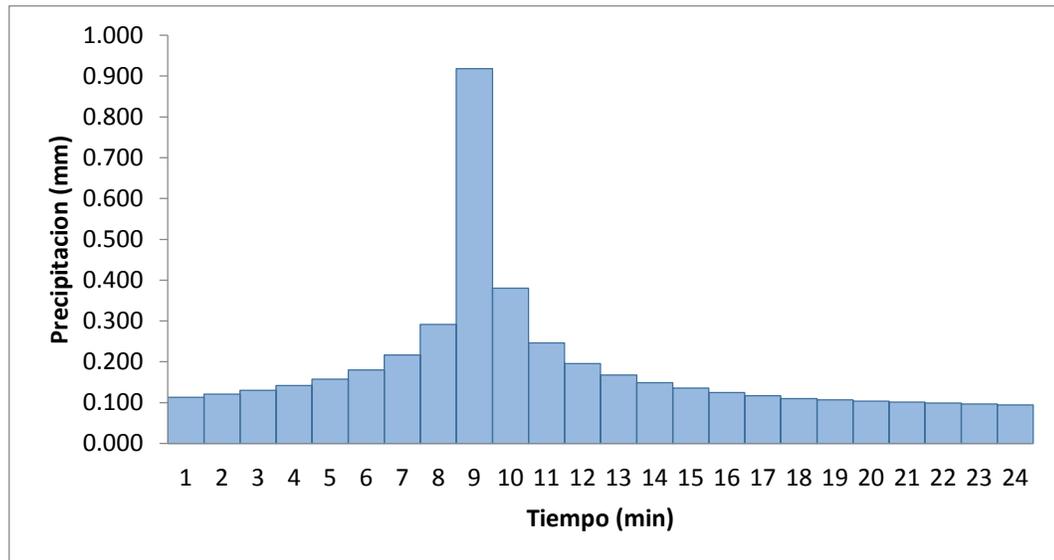


Figura 60. Hietograma tiempo de retorno de 25 años

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

Tabla 35. Caudales para la subcuenca Jaucalla

Subcuenca	Tr= 25años	Tr=50años	Tr=100años	Tr=200años	Tr=500
Jaucalla	5.325	7.089	9.127	11.330	14.504

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.- Análisis de resultados

En la tabla 36 se observa que los datos de precipitación para la metodología Convencional son mayores con respecto a los datos de precipitación para la metodología Pisco.

Mientras que en la tabla 37 se observa la variación de intensidad entre la metodología Pisco y la metodología convencional, por otra parte, también se plasma que los caudales obtenidos para la metodología Pisco y metodología Convencional tiene cierta discrepancia debido a que se obtuvo cierta varianza en los datos de precipitación.

Tabla 36. Resumen Datos de Precipitaciones Pisco y Convencional

Item	Año	PP Pisco	PP Convencional
1	1981	39.11	-
2	1982	18.40	-
3	1983	17.87	-
4	1984	28.90	-
5	1985	21.04	-
6	1986	37.54	-
7	1987	25.85	-
8	1988	16.19	-
9	1989	21.60	-
10	1990	23.47	-
11	1991	11.94	45.70
12	1993	18.91	57.40
13	1994	17.74	35.90
14	1995	17.45	34.50
15	1996	17.30	38.10
16	1997	24.43	28.30
17	1998	15.10	35.20
18	1999	20.64	24.40
19	2000	19.83	47.45
20	2001	14.20	44.20
21	2002	25.46	28.50
22	2003	11.39	34.80
23	2004	15.11	36.00
24	2005	12.89	32.00
25	2006	22.73	31.70
26	2007	15.69	43.50
27	2008	19.50	36.20
28	2009	26.79	32.70
29	2010	16.96	37.40
30	2011	32.38	41.30
31	2012	26.32	49.90
32	2013	13.41	35.90
33	2014	18.61	41.70
34	2015	20.65	32.80
35	2016	28.64	46.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37. Tabla Resumen de Caudales por ambas metodologías

TR	I CONVENCIONAL	I PISCO	C	A (Km <sup>2</sup> )	Q CONVENC	Q PISCO
25	46.210	22.265	0.45	12.00	22.587	5.325
50	49.374	24.281	0.45	12.00	25.475	7.089
100	52.754	26.479	0.45	12.00	28.437	9.127
200	56.366	28.877	0.45	12.00	31.496	11.330
500	61.523	32.382	0.45	12.00	35.705	14.504

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se puede ver que para la metodología Pisco las precipitaciones empiezan en el minuto 20.83 mientras que para la metodología convencional las precipitaciones empiezan en el minuto 18.33, es por ello que obtiene una variación en los datos de caudales e intensidades obtenidas. Esto se puede observar en la figura 61 y figura 62.

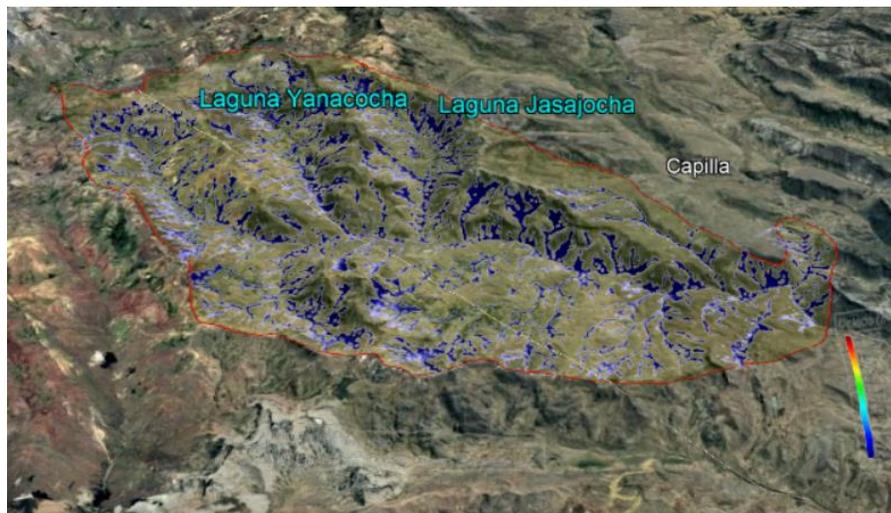


Figura 61. Inicio de Precipitaciones para la Metodología Convencional

Fuente: Elaboración propia usando el software Google Earth Pro

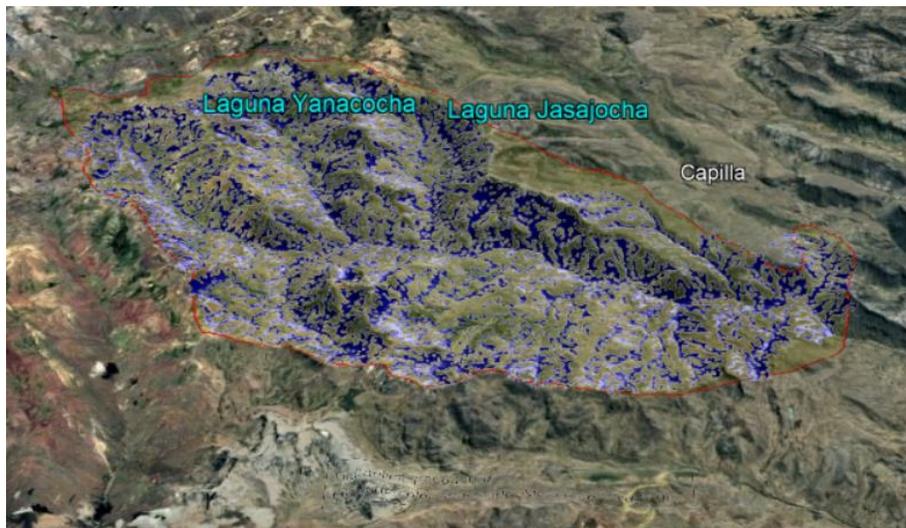


Figura 62. Inicio de Precipitaciones para la Metodología Pisco

Fuente: Elaboración propia usando el software Google Earth Pro



Figura 63. Precipitaciones Máximas para la Metodología Convencional

Fuente: Elaboración propia usando el software Google Earth Pro

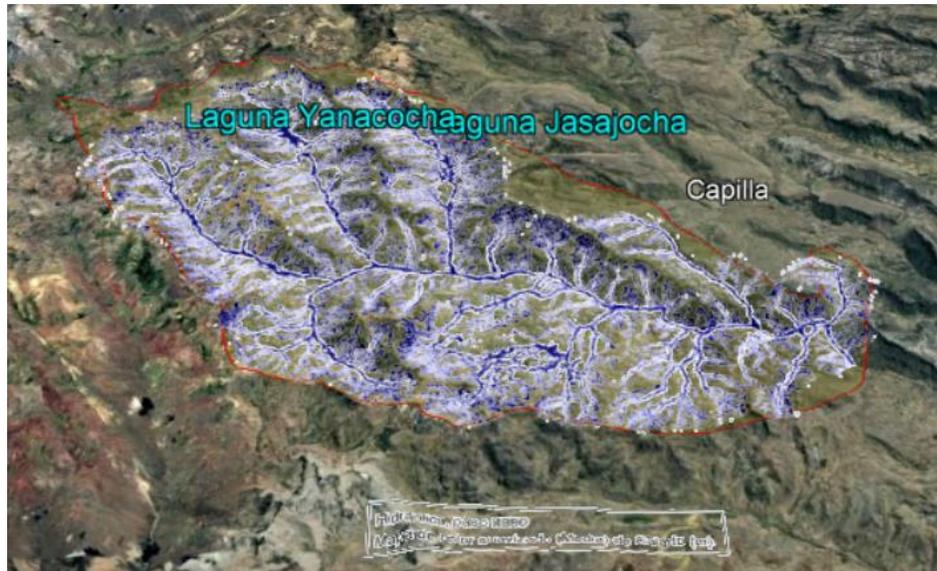


Figura 64. Precipitaciones Máximas para la Metodología Pisco

Fuente: Elaboración propia usando el software Google Earth Pro

#### 5.5.- Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 1: La diferencia de las precipitaciones se obtendrá a través de la aplicación metodología PISCO se extraerá los datos del R-Studio de acuerdo a la información brindada de la base digital de interpolación de precipitaciones del ANA, para la metodología convencional se realizará la compra de datos de precipitaciones de la base de datos del SENAMHI.

La diferencia de precipitaciones se presentó por la extracción de datos para la metodología PISCO por el software R-Studio y para la metodología convencional por las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

Se cumplió con la hipótesis mediante los análisis hidrológicos realizados con la metodología pisco y convencional, donde se contrasta que la metodología más aceptable es la convencional debido a que en los resultados de precipitación son mayores con respecto a las precipitaciones obtenidas con la metodología Pisco como se puede ver en la tabla 35, en donde se ve que la precipitación máxima para la metodología convencional es 57.40 mm, mientras que para la metodología Pisco es 39.11 mm.

Hipótesis específica 2: Se calculará las precipitaciones en diferentes periodos de retorno según las diferentes obras hidráulicas que beneficien a los pobladores de la zona de estudio.

Se cumplió con la hipótesis ya se calculó las precipitaciones mediante el método de Dyck Peschke para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 200 y 500 años debido a que estos son los tiempos de retorno que involucran todas las obras hidráulicas.

Hipótesis específica 3: La comparación de caudales se realizará por el método racional para ambas metodologías.

Se cumplió con la hipótesis puesto que se calculó los caudales con las precipitaciones de la metodología Pisco y metodología Convencional mediante el método racional y posteriormente se comparó los caudales obtenidos, en la cual se obtuvo cierta discordancia entre metodologías como se puede ver en la tabla 36. Luego de obtener los datos de caudales e intensidades para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, se hizo los gráficos como se pueden ver en la figura 63 y figura 64 para visualizar con mayor facilidad las discordancias entre estas.

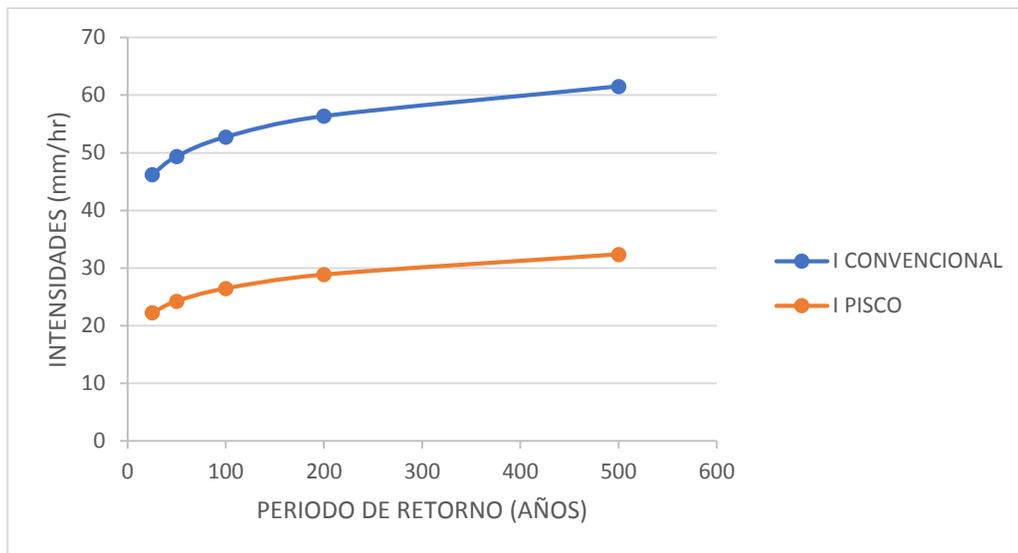


Figura 65. Gráfico comparativo de caudales por ambas metodologías

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

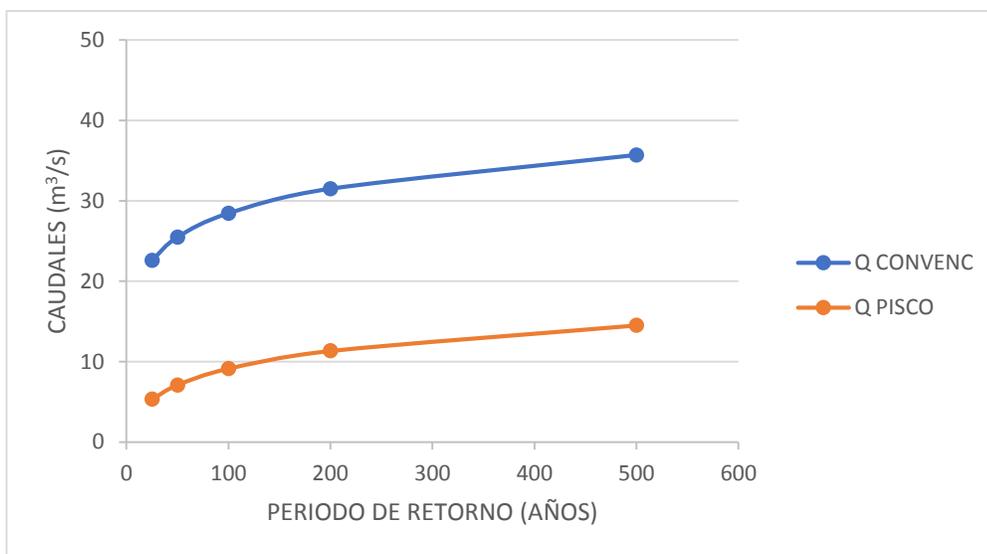


Figura 66. Gráfico comparativo de intensidad por ambas metodologías

Fuente: Elaboración Propia usando el software Excel

## CONCLUSIONES

1. La metodología PISCO presenta datos desde el año 1981 por la interpolación de estaciones meteorológicas alejadas de la cuenca Chicllarazo – subcuenca Jauccalla mientras que para el método convencional se tiene un registro desde el año de 1992 por las estaciones meteorológicas como Apacheta, Choccoro y Churia, como se puede observar el resumen de precipitaciones para ambas metodologías en la tabla 35, con lo que se concluye en que los datos de precipitaciones en 24 horas son mayores para la metodología convencional con un dato de precipitación promedio de 38.06 mm respecto a los datos obtenidos con la metodología Pisco con un dato de precipitación promedio de 21.03mm.
2. Al ajustar y calcular las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno calculados, se muestra que las precipitaciones de la metodología convencional son mayores que la metodología PISCO como se muestra en la tabla 18 para metodología convencional, mientras que en la tabla 29 para la metodología Pisco.
3. Los caudales de escurrimiento en la cuenca Chicllarazo para la metodología convencional son 22.587 m<sup>3</sup>/s, 25.475 m<sup>3</sup>/s, 28.437 m<sup>3</sup>/s, 31.496 m<sup>3</sup>/s, 35.705 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente, mientras que para la metodología Pisco son 5.325 m<sup>3</sup>/s, 7.089 m<sup>3</sup>/s, 9.127 m<sup>3</sup>/s, 11.330 m<sup>3</sup>/s, 14.504 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente, donde se puede observar que la metodología convencional nos arroja mayores datos de caudal.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar la metodología convencional con un mínimo 3 estaciones meteorológicas en la zona de estudio, debido a que al tener escasas estaciones meteorológicas se hará imposible obtener los datos de precipitaciones.
2. Se recomienda realizar la extracción de datos de pisco a cada 5 km en coordenadas Este y coordenadas Norte debido a que la interpolación de la grilla esta con la variación de 5k en ambas direcciones.
3. No se recomienda utilizar la metodología Pisco en áreas pequeñas ( $< 25 \text{ km}^2$ ).
4. Se recomienda no usar la metodología PISCO en zonas donde no se tenga estaciones meteorológicas debido a que esta data es la interpretación de la interpolarización de estaciones meteorológicas y mientras más alejadas estén estas, la interpolación generará un subdimensionamiento o un sobredimensionamiento de las estructuras de conducción.
5. Para investigaciones académicas se recomienda usar la metodología Convencional, ya que es la más empleada y conocida para diseño de obras hidráulicas, por otro lado, viene a ser más amigable y su procesamiento es mucho más fácil en comparación con la metodología Pisco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alan Neill, D. y Cortez Suárez, L. (2017). Procesos y fundamentos de la investigación científica. Ecuador: Editorial UTMACH
- Huerta Julca, A. M. (2020). “Vulnerabilidad de la disponibilidad de los recursos hídricos en el Perú frente al cambio climático: análisis probabilístico de BUDYKO”. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- López Roldán, P. y Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Universidad Autónoma de Barcelona. España
- Bono Cabré, R. (2020). Diseños cuasi-experimentales y longitudinales. Universidad de Barcelona, España.
- Buendía, L; Colás, P. y Hernández, F. (2001). Métodos de investigación en Psicopedagogía. España: Editorial McGraw hill
- Villasís Keever, M. A. y Miranda Novales, M. G. (2016). “El protocolo de investigación IV: las variables de estudio”. Revista Alergia México. México.
- Behar Rivero, D. S. (2008). “Metodología de la investigación”. México: Editorial Shalom 2008
- Aybar, C.; Lavado, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.; Sabino, E.; y Felipe, O. (2017). “Uso del producto grillado pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico”. SENAMHI – DHI. Lima
- Traverso Yucra, K. A. (2018). “Generación de caudales medios mensuales a partir de las características hidrológicas de la cuenca del río Huancané”. Universidad Nacional del Altiplano. Puno
- Carmona Arteaga, A. (2019). “Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima
- Penot, D. (2014). “Cartographie des événements hydrologiques extremes et estimation SCHDEX en sites non jaugés”. Université de Grenoble, Francia.
- Verdú Arnal, J. M. (2003). “Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea”. Universidad de Lérida. España.

- Díaz Sánchez, L. (2010). “Improving resource availability for geospatial information infrastructures”. Universidad Jaime I. España.
- Llauca Soto, H. (2019). “Modelamiento hidrológico a paso mensual para el monitoreo de sequías hidrológicas en cuencas de la vertiente del pacífico y del Titicaca”. Dirección de Hidrología – SENAMHI, Perú.
- Chuquiruna Chávez, M. A. (2020). “Análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del río Cajamarquino”. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Lux Cardona, B. (2016). “Conceptos básicos de morfometría de cuenca hidrográficas”. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Cotler, H.; Galindo, A.; González, D.; Pineda, R.; Ríos, E. (2013). “Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

## ANEXO

### Anexo 1. Cronograma de Actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LA INVESTIGACIÓN			AÑO 2021						
Estudio comparativo para la estadarización de precipitaciones en la cuenca chichlarazo aplicando la metodología Pisco versus Convencional			MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
CAPITULO	Actividades	Actividades							
CAPITULO I	Planteamiento del problema	Busqueda de información							
CAPITULO II	Marco teórico	Interpretación de información							
CAPITULO III	Sistema de hipótesis	Presentación de hipótesis							
CAPITULO IV	Metodología de estudio	Aplicación de metodología							
	Entrega Final								
CAPITULO I	Levantamiento de observaciones	Levantamiento de observaciones							
CAPITULO II	Marco teórico	Levantamiento de observaciones							
CAPITULO III	Sistema de hipótesis	Levantamiento de observaciones							
CAPITULO IV	Metodología de estudio	Levantamiento de observaciones							
		Recolección de datos							
		Procesamiento de datos							
CAPITULO V	Presentación y analisis de resultados	Levantamiento de observaciones							
		Análisis de resultados							
		Contrastación de hipótesis							
	CONCLUSIONES								
	RECOMENDACIONES								

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2. Presupuesto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U. (S/.)	PARCIAL (S/.)	TOTAL (S/.)
1.00	PERSONAL					
1.01	Bachiller	PERSONA	2.00	1200.00	2400.00	
1.02	Programa TITES	PERSONA	2.00	6000.00	12000.00	14400.00
2.00	MATERIALES					
2.01	Tinta	Glb	1.00	100.00	100.00	
2.02	Papel	Glb	1.00	200.00	200.00	
2.03	Libros	und	1.00	100.00	100.00	
2.04	Compra de datos	Glb	1.00	10000.00	1000.00	1400.00
3.00	SERVICIOS					
3.01	Ploteos	Glb	1.00	300.00	300.00	
3.02	Empastado	und	1.00	350.00	350.00	
3.03	Viajes a la zona	Glb	1.00	200.00	200.00	850.00
<b>PRESUPUESTO TOTAL (SOLES)</b>						<b>16650.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Matriz de consistencia

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL
¿Como realizar el estudio comparativo de estandarización de precipitaciones en la cuenca Chikllarazo aplicando la metodología PISCO versus convencional?	Realizar el estudio comparativo de estandarización de precipitaciones en la cuenca Chikllarazo aplicando la metodología PISCO versus convencional.	Con el procesamiento de datos de precipitación por ambas metodologías se podrá ver la variación de caudal entre estas en la cuenca Chikllarazo.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
¿Como obtener la diferencia de precipitaciones de Pisco y las estaciones meteorológicas nacionales?	Obtener la diferencia de precipitaciones de Pisco y las estaciones meteorológicas nacionales.	Con la aplicación metodología PISCO se extraerá los datos del R-Studio de acuerdo a la información brindada de la base digital de interpolación de precipitaciones del ANA. Para la metodología convencional se realizará la compra de datos de precipitaciones de la base de datos del SENAMHI.
¿Como calcular las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno?	Calcular las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno	Se calculará las precipitaciones en diferentes periodos de retorno según las diferentes obras hidráulicas que beneficien a los pobladores de la zona de estudio.
¿Como comparar el caudal de escurrimiento en la cuenca Chikllarazo por el método PISCO y el método convencional?	Comparar el caudal de escurrimiento en la cuenca Chikllarazo por el método PISCO y el método convencional	La comparación de caudales se realizará por el método racional para ambas metodologías

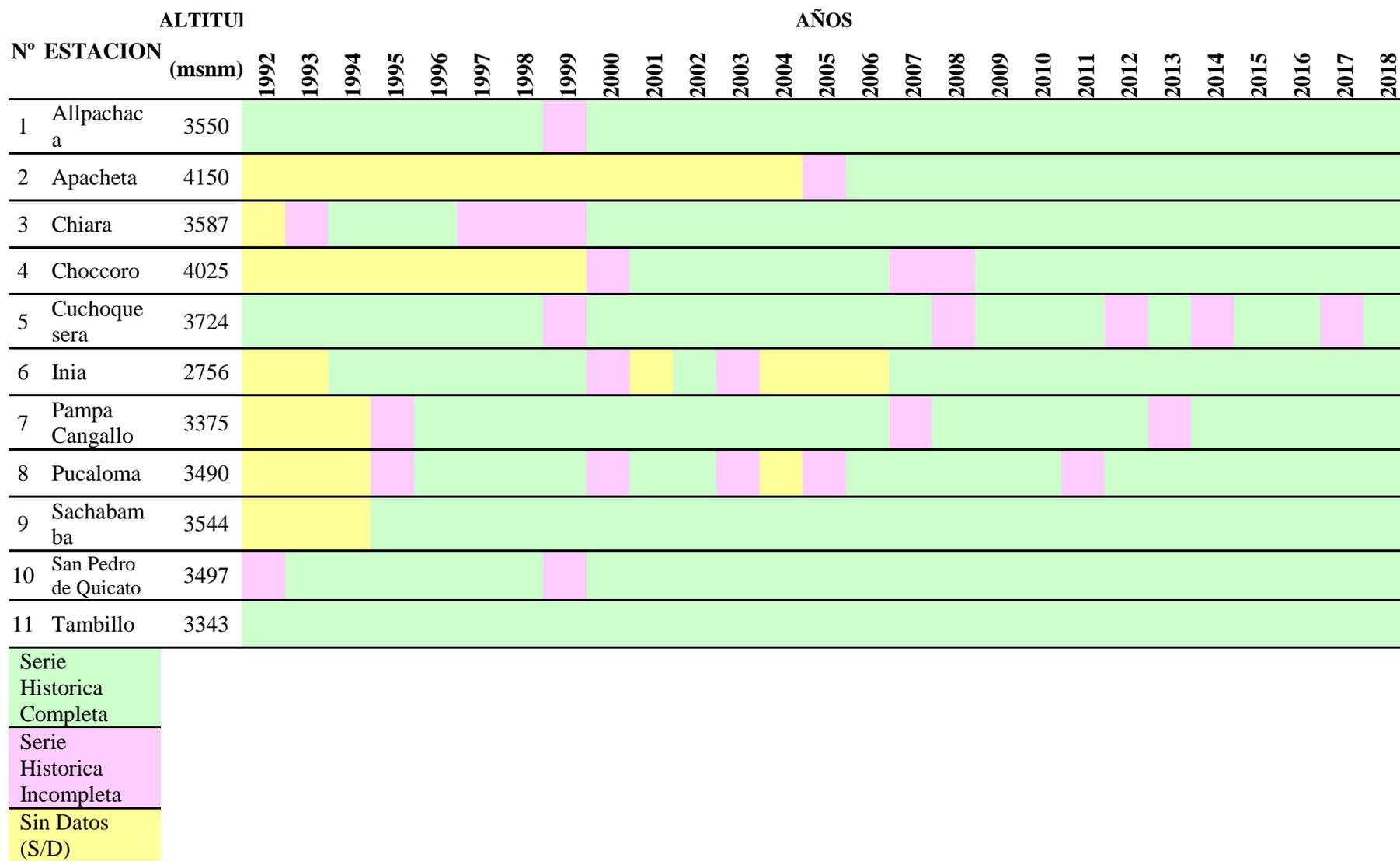
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLES DEPENDIENTES	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Metodología Pisco	Es el resultado de la interpolación de datos de estaciones meteorológicas de estimación de precipitaciones para obtener una base de datos grillada a nivel nacional de alta resolución.	*Precipitaciones *Caudales	Data PISCO extraído del software R-Studio proporcionado por el SENAMHI	NOTA TECNICA 001 SENAMHI-DHI-2017 SOFTWARE: R-STUDIO
Metodología convencional	Se usa las estaciones meteorológicas y luego se realiza un distribución del terreno por el Método de polígono de Thiessen de acuerdo a la cantidad de estaciones que involucre el terreno	*Precipitaciones *Caudales	Data de estaciones meteorológicas adyacentes a la cuenca Chicllarazo	SENAMHI - OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA PARAMETRO PRECIPITACION MANUAL DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA DEL PERU
VARIABLE INDEPENDIENTE		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Precipitaciones en la cuenca Chikllarazo	Se realizará para los diferentes periodos de retorno y caudales con los diferentes metodos.	*Precipitaciones *Caudales	Data de Pisco y de estaciones próximas a la cuenca	PISCO, SENAMHI, ARCGIS, R-STUDIO, HECHMS

Fuente: Elaboración propia

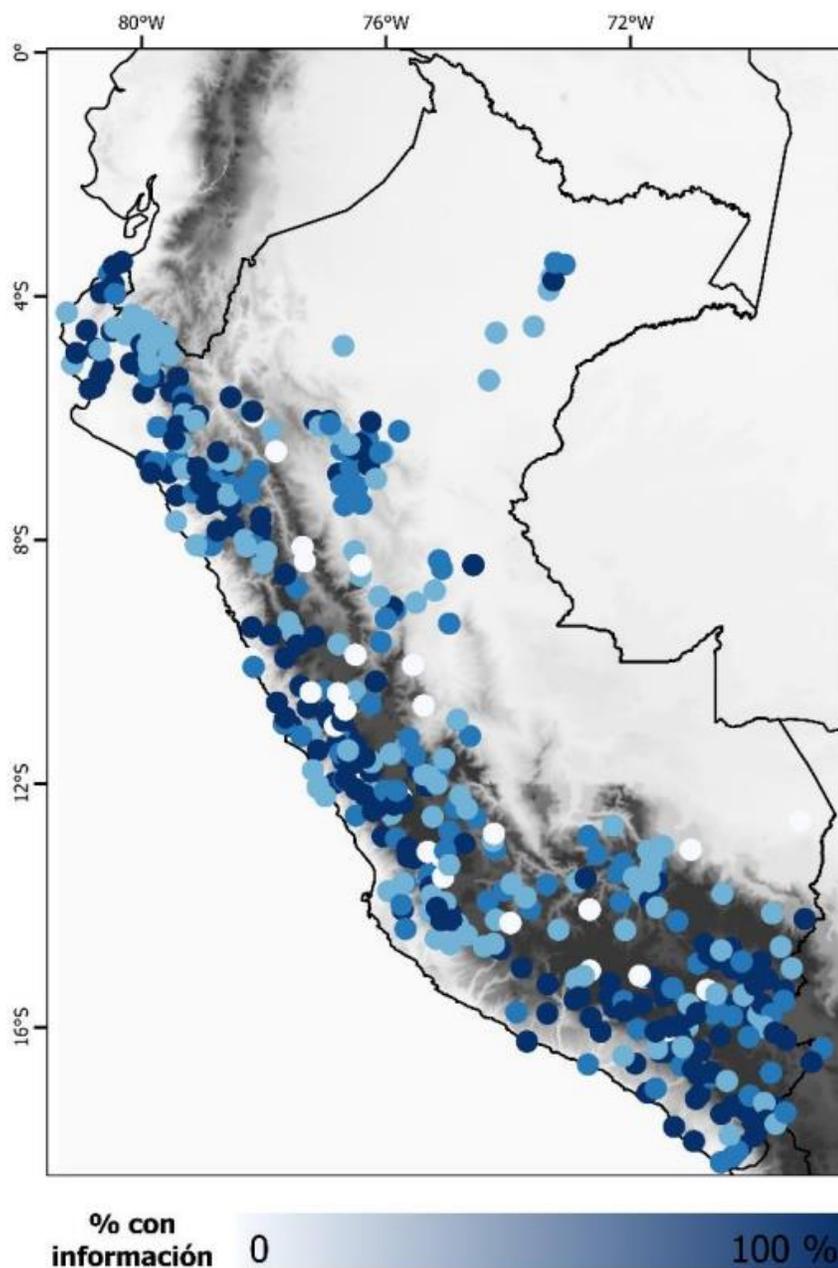
### Anexo 5. Histórico de Estaciones Meteorológicas



Serie Historica Completa  
 Serie Historica Incompleta  
 Sin Datos (S/D)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Red de estaciones utilizadas a escala nacional para la elaboración de PISCO para el periodo 1981 - 2016



Fuente: Nota técnica 001 SENAMHI – DHI - 2017