



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Determinación de caudales máximos de diseño mediante
métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri,
Puno – 2020”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Mamani Gómez, José Antonio (ORCID: 0000-0001-7694-7549)

ASESOR:

Dr. Muñiz Paucarmayta, Abel Alberto (ORCID: 0000-0002-1968-9122)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

Lima – Perú

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia que me animó y apoyó en todo momento, especialmente para mis padres Guillermo y Martha

Agradecimiento

Agradezco a Dios en primer lugar por la vida, los dones y las oportunidades que he tenido hasta hoy y las que están por venir.

A mi asesor al Dr. Muñiz Paucarmayta, Abel Alberto por su dedicación, apoyo, por todo el conocimiento que me transmitió y por su paciencia durante todas mis dificultades en esta investigación.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la estructuración y operacionalización de la investigación, desde el suministro de datos y programas hasta su comprensión.

Por último, a todos aquellos que saben que me ayudaron a lograr este objetivo tan anhelado por mí para mi carrera profesional.

Muchas gracias!!!

Índice de contenidos

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xii
Resumen	xv
Abstract	xvi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	3
3 METODOLOGÍA	21
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	21
3.2 Variables y operacionalización	22
3.3 Población, muestra y muestreo	24
3.3.1 Población	24
3.3.2 Muestra	24
3.3.3 Muestreo	24
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	24
3.4.1 Técnicas.....	24
3.4.2 Instrumento de datos	25
3.4.3 Validez	25

3.4.4	Análisis de validez.....	25
3.4.5	Confiabilidad	26
3.5	Procedimientos.....	27
3.5.1	Estudios previos.....	27
3.6	Método de análisis de datos	30
3.6.1	Estimación de caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel	33
3.6.2	Calculo de los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal	34
3.6.3	Estimación de los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)	34
3.7	Aspectos éticos.....	35
4	RESULTADOS.....	36
4.1.1	Estimación de caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel	41
4.1.2	Cálculo de los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal	42
4.1.3	Estimación de los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)	43
4.1.4	Análisis de cálculos generales para el diseño de caudales máximos de diseño	44
5	DISCUSIÓN.....	48
5.1.1	Discusión 1.....	49
5.1.2	Discusión 2.....	49
5.1.3	Discusión 3.....	50
5.1.4	Discusión 4.....	50
6	CONCLUSIONES	52
Conclusión 1	52	
Conclusión 2.....	52	
Conclusión 3.....	53	
Conclusión 4.....	53	
7	RECOMENDACIONES	54
Recomendación 1	54	

Recomendación 2.....	54
Recomendación 3.....	54
Recomendación 4.....	54
REFERENCIAS	56
ANEXOS	61

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros de Validez	26
Tabla 2. Validez de contenido de las variables	26
Tabla 3. Características fisiográficas de la cuenca en estudio	31
Tabla 4. Características geomorfológicas de la cuenca en estudio.....	31
Tabla 5. Precipitación máxima en 24 horas por estaciones	32
Tabla 6. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Gumbel.....	34
Tabla 7. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Normal.....	34
Tabla 8. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Gamma.....	35
Tabla 9. Resumen de estimación de eventos extremos para diferentes periodos de retorno de la estación – Ayaviri.	36
Tabla 10. Ajuste del análisis de doble masa	37
Tabla 11. Valores de t en la prueba de estacionariedad de Sperman.....	37
Tabla 12. Áreas de Influencia de las Estaciones Meteorológicas por unidades hidrográficas.....	38
Tabla 13. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno de las estaciones que involucran el área del estudio	39
Tabla 14. Áreas de influencia de las estaciones meteorológicas ponderadas por unidades hidrográficas	39
Tabla 15. Distribución Gumbel teórico.....	41
Tabla 16. Distribución Normal teórico.....	42
Tabla 17. Distribución Gamma teórico.....	43

Tabla 18. Cálculo del Hietograma de diseño $T_r=50, 100$ y 200 años	44
Tabla 19. Coeficiente de esorrentía.....	46
Tabla 20. Caudal máximo de la subcuenca para diferentes periodos de retorno .	47

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama esquemático del ciclo del agua	16
Figura 2. Representación de entrada, sistema y salida de un modelo matemático	18
Figura 3. Diagrama de una cuenca y un modelo distribuido físicamente casi tridimensional	20
Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio	28
Figura 5. Comparación de las diferentes distribuciones teóricas para las precipitaciones.....	36
Figura 6. Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas	37
Figura 7. Polígonos de Thiessen de la cuenca del río Ayaviri por unidades hidrográficas	40
Figura 8. Frecuencia relativa, frecuencia relativa acumulada y función densidad	41
Figura 9. Distribución Gumbel.....	42
Figura 10. Distribución Normal.....	43
Figura 11. Distribución Gamma.....	44
Figura 12. Hietograma $T_r=50, 100$ y 200 años.....	45
Figura 13. Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno	46

Resumen

El caudal máximo que se registra durante el aumento inusual por eventos extremos, superando los valores medios normales. El estudio hidrológico es importante, para fines de diseño de obras hidráulicas y en temas de prevención de la gestión de riesgos. El objetivo principal es Determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020. Los métodos que se usaron fueron la distribución Gumbel; Normal y Gamma (Pearson Tipo III). Se ha considerado las estaciones Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa, procesados por el método de polígonos de Thiessen, se tiene un buen coeficiente de ajuste de cerca de 1, además son estacionarias según Sperman que estuvo dentro del rango de $t_{2.5\%} = - 1.96$ y $t_{97.5\%} = + 1.96$, se concluye que la serie histórica es estacionaria. Los cálculos de caudales máximos por el método de Mac-Math son 346.904, 376.816 y 406.727 m³/s; seguidamente se hizo el cálculo de Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el hidrograma unitario y son 353.419, 431.451 y 512.886 m³/s. Finalmente se concluye que las estaciones tienen correlación con la zona de estudio y no hay diferencia estadística con los demás estudios.

Palabras claves: Caudal máximo, precipitación, cuenca, coeficiente de ajuste, tiempo de retorno.

Abstract

The maximum flow rate that is recorded during the unusual increase by extreme events, exceeding the normal average values. The hydrological study is important, for purposes of design of hydraulic works and in issues of prevention of risk management. The main objective is to determine the maximum design flows using conventional probabilistic methods in the Ayaviri sub-basin, Puno - 2020. The methods used were the Gumbel distribution; Normal and Gamma (Pearson Type III). It has been considered the Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally and Santa Rosa stations, processed by the Thiessen polygon method, it has a good adjustment coefficient of about 1, in addition they are stationary according to Sperman that was within the range of $t_{2.5\%} = - 1.96$ and $t_{97.5\%} = + 1.96$, it is concluded that the historical series is stationary. The calculations of maximum flows by the method of Mac-Math are 346,904, 376,816 and 406,727 m³/s, then made the calculation of Soil Conservation Service (SCS), the unit hydrograph and are 353,419, 431,451 and 512,886 m³/s. Finally, it is concluded that the stations have correlation with the study area and there is no statistical difference with the other studies.

Keywords: Maximum flow, precipitation, basin, adjustment coefficient, return time.

1 INTRODUCCIÓN

El caudal máximo representa al aumento extraordinario de los eventos extremos, superando los valores medios normales Haan *et al.* (1994b); Haan *et al.* (1994a). La precipitación de veinticuatro horas, se usan para el uso de cálculos de caudales máximos para el diseño de obras hidráulicas Chow *et al.* (1994); Fattorelli y Fernández (2011), siempre ha sido una controversia debido a que los métodos analizados como caudales máximos, debiendo realizar una proyección con escenarios asociados a los tiempos de retorno Chen (1983); Breña y Jacobo (2006), aplicando teoría de probabilidades, con un alto grado de incertidumbre Aguilera (2007). La información hidrológica permite realizar el análisis de la oferta hídrica de la cuenca, posteriormente se puede utilizar para caudales máximos para distintos períodos de retorno, así obtener el caudal de diseño para las obras hidráulicas Chow *et al.* (1994).

Estos eventos pueden ocurrir debido al comportamiento natural de los ríos o amplificados por el efecto de la alteración producida por el hombre en la urbanización al impermeabilizar superficies y canalizar ríos Tucci (2003).

Cuando la precipitación es intensa y el suelo no tiene capacidad de infiltrarse, una gran parte del volumen fluye hacia el sistema de drenaje, excediendo su capacidad de flujo natural Righetto (1998). El exceso de volumen que no se puede drenar ocupa la llanura de inundación, de acuerdo con la topografía de las áreas cercanas a los ríos Uehara *et al.* (1980); Chen (1983). Estos eventos ocurren al azar según los procesos climáticos locales y regionales. Este tipo de inundación se llama en este libro de inundación ribereña.

Conociendo los escenarios de caudales máximos, ayuda a diseñar óptimamente las obras hidráulicas que tiene una relación directa con el tiempo de vida de dicha infraestructura Williams y Singh (1995); Srinivasan *et al.* (1998). Finalmente se tendrá un impacto positivo en la gestión de proyectos hidráulicos que se puedan implementar en la subcuenca de Ayaviri.

El estudio hidrológico es importante, a fin de conocer las características de los caudales máximos y mínimos, dependiendo de lo que se desea, en este caso específico se busca conocer los caudales máximos para el diseño de obras hidráulicas como por ejemplo defensas ribereñas, o para prever las protecciones a fin de evitar las futuras inundaciones en la parte media y baja de la subcuenca. Los

caudales máximos se deben de conocer desde el punto de vista del tiempo de retorno para crear escenarios presentes y futuros, los mismos son regionalizados según las estaciones meteorológicas existentes.

En la actualidad es escasa la información sobre la calidad de información meteorológica e hidrométrica, en algunos casos se consideran caudales medios, lo cual en este trabajo de investigación se disponibilizará con los cálculos realizados contara con caudales máximos por los diferentes métodos desarrollados y con diferentes tiempos de retorno, lo cual nos tendrá un panorama de cómo será el comportamiento de según los escenarios para implementar acciones en bien de los pobladores de la parte media y baja de la subcuenca de Ayaviri.

El objetivo principal es determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020, para diseño de obras hidráulicas en la subcuenca Ayaviri, considerando los siguientes objetivos específicos; estimar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel; calcular los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal y estimar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gamma (Pearson Tipo III).

2 MARCO TEÓRICO

En los trabajos previos como antecedentes nacionales, Chávez (2009), en la investigación titulado Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente carrasquillo, fijo con el objetivo: determinar las características pluviométricas de dicha cuenca; aplicando la metodología: la regionalización de caudales, obtuvo los resultados de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

Se tiene la investigación de Tejada (2014), titulado: Estudio hidrológico de máximas avenidas de la subcuenca Juana Ríos - Cuenca Chancay – Lambayeque; realizó el estudio hidrológico de máximas avenidas, en donde el autor determinó los valores de caudales máximos del río Chancay, llegando a los resultados de caudales máximos para los diferentes tiempos de retorno de 5, 10, 25,50, 100, 500 y 1000 años.

En la región de Puno se desarrolló el “Modelo regional aplicado a las máximas avenidas en las cuencas de los ríos: llave, Callacame y Zapatilla”, para el diseño de obras hidráulicas desarrollado por Laura (2014), con el objetivo de proponer un modelo regional aplicado a las máximas avenidas en la cuencas de estudio, obteniendo como resultado las distribuciones de probabilidades, demostrando el modelo regional para estimar las máximas avenidas en cualquier ubicación de la cuenca.

En la subcuenca de Ayaviri se ha desarrollado la investigación denominado “Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri – Puno”, desarrollo Mamani (2014), el estudio determina las descargas máximas para distintos períodos de retomo y simulación de la dinámica de los flujos, encontrando los siguientes resultados analizados para los periodos de retorno de 5, 50 y 100 años y los caudales de 126.40, 424.20 y 495.80 m³/s respectivamente, encontrando además un total de 253.03 hectáreas de áreas inundables.

Se tiene la investigación de Gutiérrez (2017); titulado: Determinación de las áreas vulnerables frente a riesgos de inundación y huaycos en la zona aledaña al río Pachatusan y sus propuestas de mitigación; el autor determinó las descargas

máximos generados e identificar las áreas vulnerables, además, analizó las variables geomorfológicas, para proponer obras hidráulicas de mitigación, para hacer frente a riesgos de inundaciones y huaycos en las zonas expuestas al río Pachatusan; utilizó la metodología de los caudales máximos para los diferentes tiempos de retorno de 5, 10, 25,50, 100, 500 y 1000 años; en donde se calculó los caudales de 77.40, 95.40, 147.50) m³/s para los diferentes periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente. Con los datos generados, identificó los peligros, áreas vulnerables y riesgos que generan los distintos fenómenos meteorológicos como son las inundaciones y huaycos.

En la región de Puno se desarrolló el “Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú”, desarrollado por Lujano (2019), evidenciando tres regiones homogéneas determinadas mediante un proceso mixto, entre el algoritmo de Ward, determinando de esta manera la curva de crecimiento regional; finalmente se obtuvo la regionalización de descargas máximas para toda la región de Puno.

La investigación realizada por, Vergara (2020), en la investigación titulado: Simulación y pronóstico de caudales diarios del Río Amazonas usando un enfoque híbrido Wavelet y Redes Neuronales, el estudio tiene un enfoque híbrido análisis multiresolución wavelet y RNA llamado modelo wavelet red neuronal (WRN), con el objetivo de desarrollar modelos “basados en datos” con dos técnicas, la red neuronal artificial (RNA), la metodología que aplicó el error cuadrático medio (RMSE) y la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE). Como resultados se tiene para un pronóstico de 30 días, encontrándose el modelo WRN con RMSE = 4820 m³/s y NSE = 0.83, en donde sus resultados son mejores al modelo RNA con RMSE = 6092 m³/s y NSE = 0.72, en la etapa de validación.

En los trabajos previos como antecedentes internacionales, en Talca se desarrolló la “Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule”, desarrollado por Aguilera (2007), el estudio muestra un análisis de la función de distribución de probabilidad de caudales máximos, en donde son ajustados a las diferentes funciones de distribución como la distribución Gumbel, el resultado demuestra que es altamente confiable, con un coeficiente de determinación del 96,4% y descartando la función

Log-Normal, la función presenta una sobreestimación en los valores de caudales máximos probables, no se recomienda ese método para el cálculo de caudales máximos.

En Pejibaye, Costa Rica Chavarría *et al.* (2020), desarrolló la investigación titulado: Determinación del caudal ambiental requerido para río Pejibaye mediante la implementación de una metodología de cálculo hidrobiológica, en donde ha considerado variables de cambio climático, a fin de validar todas las variables en el campo, la metodología fue para obtener el caudal ambiental, aplicando la metodología hidrobiológica de cálculo del caudal ambiental en la cuenca del río Pejibaye en Jiménez de Cartago, los resultados obtenidos para el periodo 2040-2059, para el primer semestre son caudales ambientales inferiores al mínimo permitido en el periodo actual y en el periodo 2080-2099 esta condición se produce en todo el año.

En Madrid se desarrolló el “Análisis y selección de modelos estadísticos para el ajuste de la ley de frecuencia de caudales máximos anuales en España”, desarrollado por Álvarez *et al.* (2014), se ha desarrollado nuevos estándares de seguridad hidrológica para las presas, como por ejemplo el cálculo de leyes de frecuencia de caudales máximos y su extrapolación a altos periodos de retorno.

En Bogotá se desarrolló la “Investigación de la regionalización de caudales máximos en las cuencas de la provincia Gualivá por medio del método estadístico índice de creciente”, desarrollado por Briceño y Bello (2019), en este estudio se aplicó el método de índice de creciente para determinar los caudales máximos anuales promedio de las estaciones consideradas dentro de la provincia del área de estudio; utilizando el software SMADA, considerando diferentes tiempos de retorno, obteniendo el análisis de las gráficas de relación de caudal medio vs el área aferente para la obtención de una ecuación que permita simular los caudales de una subcuenca sin datos registrados.

En la ciudad de Lima se desarrolló la “Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía”, desarrollado por Chúa (2017), el autor desarrolló un sistema informático para cálculos hidrológicos denominado HidroCal, con el sistema informático análisis de datos hidrológicos, analizando como las (relación IDF y

precipitación máxima probable), análisis de máximas avenidas, generación de lluvia escorrentía (método racional, método NRSC, hidrograma unitario, curva S y caudal base); validó y calibró con datos reales para la cuenca de Cañete.

Como bases teóricas se tiene lo siguiente:

Los métodos probabilísticos convencionales Llamas (1993); Villón (2004); Mejía (2012), se usa para el análisis de frecuencias Chow (1964); Aparicio (1997), los métodos permite calcular o estimar precipitaciones o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno Singh (2017); Schuite *et al.* (2019), los cuales se pueden considerar para datos discretos o continuos.

En la estadística existen posee diversos métodos y funciones de distribución de probabilidad teóricas para determinar dichas probabilidades Llamas (1993); Villón (2004); Mejía (2012); las distribuciones de probabilidad aplicadas en el presente estudio son las siguientes: distribución Gumbel, distribución normal o Gaussiana y distribución Gamma (Pearson Tipo III).

La distribución Gumbel MTC (2012), esta distribución considera datos de valor extremo, se denomina también valor extremo Tipo I, Fisher – Tippett Tipo I. También es llamado como la distribución doble exponencial Chow *et al.* (1994); Mejía (2012).

La función acumulada MTC (2012), de la función de distribución acumulada, tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (1)$$

Para : $-\infty < x < \infty$

Donde:

$0 < r < \infty$, es el parámetro de escala.

$-\infty < S < \infty$, es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda.

La función de densidad Chow *et al.* (1994); Mejía (2012), se desarrolla la función derivando la función distribución acumulada, ecuación (1), respecto a x,

posteriormente se obtiene la función densidad de probabilidad según lo describe el MTC (2012), es decir:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{r} e^{-\Gamma(x-s) - e^{-\Gamma(x-s)}} \quad (3)$$

Para : $-\infty < x < \infty$

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como:

$$y = \Gamma(x - s) \quad (4)$$

Con lo cual, la función densidad reducida Gumbel es:

$$g(y) = e^{-y - e^{-y}} \quad (5)$$

Y la función acumulada reducida Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (6)$$

Los valores correspondientes x e y, están relacionados por:

$$F(x) = G(y) \quad (7)$$

y la relación:

$$y = \Gamma(x - s) \quad (8)$$

o

$$x = s + \frac{y}{\Gamma} \quad (9)$$

La estimación de parámetros Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011), método de momentos utilizando el método de momentos MTC (2012), se obtiene las siguientes relaciones:

Media:

$$E(x) = \bar{X} = s + \frac{c}{\Gamma} \quad (10)$$

Donde C, es la constante de Euler, cuyo valor es:

$$c = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n \right] \quad (11)$$

$$c = 0.5772156649$$

Por lo tanto, de la ecuación (10), se tiene.

$$\bar{X} = s + \frac{0.5772156649}{r} \quad (12)$$

Varianza:

$$E[(x - E(x))^2] = S^2 = \frac{f^2}{r^2 * 6} \quad (13)$$

De donde se obtiene:

$$r = \frac{1.2825}{S} \quad (14)$$

$$s = \bar{X} - \frac{0.57721}{S} = \bar{X} - 0.45S \quad (15)$$

La estimación de parámetros, se desarrolla realizando el método de máxima verosimilitud Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011) y MTC (2012), luego se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

$$s = \frac{1}{r} \ln \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n e^{(-rx_i)}} \right] \quad (16)$$

$$\frac{1}{r} + \frac{\sum_{i=1}^n [e^{(-rx_i)} * x_i]}{\sum_{i=1}^n e^{(-rx_i)}} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0 \quad (17)$$

Donde:

α y β son los parámetros

n = Número de datos.

xi = ésimo dato

α Se calcula con iteraciones o aproximaciones de la ecuación (17) y se reemplaza en la ecuación (16).

La función de densidad de probabilidad Normal o Gaussiana MTC (2012), se define como:

$$f(X) = \frac{1}{\dagger \sqrt{2f}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{X - \sim}{\dagger} \right]^2} \quad (18)$$

$$\sim = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (19)$$

$$\dagger = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \sim)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

Donde:

$f(x)$ = Función densidad.

μ = Media de los datos observados.

= Desviación estándar de los datos observados.

X = Variable hidrológica en estudio.

X_i = i -ésima variable hidrológica.

e = Base de los logaritmos neperianos (Ln).

La distribución Pearson Tipo III MTC (2012); es determina desarrollando desde la función densidad, considerando la variable aleatoria, posee una distribución gamma de 3 parámetros o distribución Pearson Tipo III Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011), la función densidad de probabilidad se determina con las siguientes ecuaciones:

$$f(x) = \frac{1}{r\Gamma(s_1)} \left(\frac{x-u}{r} \right)^{s_1-1} e^{-\frac{(x-u)}{r}} \quad (21)$$

Para:

$$u \leq x < \infty$$

$$-\infty < u < \infty$$

$$0 < r < \infty$$

$$0 < s_1 < \infty$$

La función acumulada de la distribución Pearson tipo III o gamma de 3

parámetros Llamas (1993); Fernández (1995) se basa en las siguientes ecuaciones:

$$F(x) = \frac{1}{r\Gamma(s_1)} \int_0^x e^{-\frac{(x-u)}{r}} * \left(\frac{x-u}{r}\right)^{s_1-1} dx \quad (22)$$

En la cual:

x = Variable aleatoria Pearson tipo III.

u = Origen de la variable x , parámetro de posición.

r = Parámetro de escala

s_1 = Parámetro de forma

$\Gamma(s_1)$ = Función gamma completa

La variable reducida y Pearson Tipo III, es:

$$y = \frac{x-u}{r} \quad (23)$$

La función acumulada Pearson Tipo III reducida es:

$$F(y) = \int_0^y \frac{y^{s_1-1} e^{-y}}{\Gamma(s_1)} dy \quad (24)$$

La cual tiene como parámetro β_1 MTC (2012), y cuya variable aleatoria tienen origen en $y = 0$ ó $x = \delta$.

La estimación de parámetros MTC (2012), por el método de momentos, aplicando los mismos Llamas (1993); Fernández (1995), se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones considerando la media, varianza y el sesgo:

Media:

$$\bar{X} = u + r * s_1 \quad (25)$$

Varianza:

$$s^2 = r^2 * s_1 \quad (26)$$

Sesgo:

$$C_s = g = \frac{2}{\sqrt{S_1}} \quad (27)$$

Resolviendo las ecuaciones (25), (26) y (27), se obtiene:

$$S_1 = \frac{4}{C_s^2} \quad (28)$$

$$r = C_s S / 2 \quad (29)$$

$$u = \bar{X} - \frac{2S}{C_s} \quad (30)$$

Para el cálculo de C_s , para los datos muestrales Llamas (1993); Fernández (1995), usar las ecuaciones:

$$C_s = g = \frac{N^2 M_3}{(N-1)(N-2)S^3} \quad (31)$$

Dónde:

$$M_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^3}{N} \quad (32)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (33)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (34)$$

Nota limitante: Si $C_s < 0$, de la ecuación (29), β sería negativo, por lo que no cumple con la condición que $\beta > 0$.

Estos modelos permiten calcular a través de registro de precipitaciones máximas en 24 horas MTC (2012), para estimar la precipitación máxima de diseño y su probable distribución en diversos periodos de retorno.

Los caudales máximos de diseño Llamas (1993); Fernández (1995); las características geomorfológicas están definidas por: área de la cuenca, forma, pendiente y altitud, uso y cobertura de suelo, geología topografía, densidad de drenaje y longitud del curso principal Chen (1983); Beven (2012).

Según los autores Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012), en la ingeniería los diseños se hacen para soportar los eventos máximos es decir en un determinado

evento no se ha superado Llamas (1993); Fernández (1995), en un periodo de retorno determinado, por lo tanto, los diseños se realizan para periodos de retorno, es decir los valores de $F(x)$, se estiman para un tiempo de retorno dado mediante la siguiente ecuación.

$$F = 1 - \frac{1}{T} \quad (35)$$

Para el periodo de retorno se usa la formula (36) para ver las recurrencias, se presenta de la siguiente manera:

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad (36)$$

Siendo:

M = es el valor del orden

N = es el valor total de los datos

Como marco conceptual se tiene las siguientes definiciones:

La cuenca hidrográfica, es también una red de drenaje de un espacio geográfico, es el área de terreno donde todas las aguas caen por precipitación Villón (2004), donde sus aguas drenan aun punto común Tucci (2003); recorriendo desde la parte alta hasta la parte baja Righetto (1998); Melesse *et al.* (2019).

Las variables hidrológicas, como las precipitaciones y los caudales son variables hidrológicas son medidas por las estaciones hidrométricas Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017). Son consideradas variables aleatorias y son definidas mediante una función asignándole un valor, asociado a cada punto del espacio muestral de una población Chow *et al.* (1994).

Las precipitaciones representa un valor y un dato importante dentro del ciclo hidrológico Villón (2004). La precipitación y la temperatura, son elementos

climáticos más influyente del medio natural y el ambiente Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017), los datos medidos influye directamente en la distribución de las especies vegetales y animales Fernández (1995); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012), las actividades antropogénicas inciden principalmente en las actividades agrícolas, forestales y las económicas entre otras Fernández (1995). Para Llamas (1993), la precipitación es un fenómeno físico, describe la transferencia de agua en fase líquida Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012), y en fase sólida, entre la atmósfera y el suelo. La precipitación alimenta la evaporación en la cuenca y el resto es aportación superficial o subterránea Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017).

El análisis de máximas avenidas, es necesario para el diseño de obras hidráulicas principalmente, conociendo la probabilidad de ocurrencia de diferentes eventos, principalmente de calcula a partir de las precipitaciones de 24 horas y de un diseño hidrológico Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017). Para el diseño de estructuras hidráulicas se debe de fijar los coeficientes de seguridad, la estructura debe ser diseñada para controlar el evento extremo mayor que pueda ocurrir Chúa (2017) Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012).

La inversión debe justificar según los períodos de retorno que se espera de su construcción, donde debe tener el nivel de seguridad aceptable en función del daño que su falla pueda ocasionar Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017). Por lo tanto, el estudio hidrológico involucra entre la seguridad y la economía, para luego dar paso al concepto de riesgo calculado o riesgo de falla Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012). Los diseños hidrológicos obedece a la probabilidad de ocurrencia de un evento, en donde debe ser estimado por métodos estadísticos que garanticen dichos estudios realizados como por ejemplo el análisis de frecuencia Fattorelli y Fernández (2011).

La relación precipitación escorrentía, es el cálculo del evento denominado máximas avenidas, también conocido como un ascenso rápido del nivel de las aguas de un curso Chow (1964); Villón (2004); MTC (2012); Singh (2017),

considerando un máximo a partir del tirante normal, el cual desciende a una menor velocidad durante el curso aguas abajo Chúa (2017).

Es el tiempo promedio en años entre eventos o sucesos que igualan o exceden a una magnitud dada, a este tiempo promedio se denomina como tiempo o periodo de retorno Chow (1964); Chow *et al.* (1994); Tucci (2003).

El hidrograma unitario, se traduce en la escorrentía superficial ficticia que nos indica el caudal proveniente de una precipitación unitaria uniforme sobre un área de drenaje que viene hacer la cuenca Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012); la precipitación convertida en caudal o llamada también escorrentía superficial de volumen unitario Mejía (2012).

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores, como es la precipitación, la humedad inicial del suelo, la granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación y pendiente. La precipitación es influyente desde el punto de vista que depende de la cantidad, intensidad y distribución en el tiempo; además, se considera que es una fracción de agua que llega al cauce de evacuación con respecto a la precipitación total. El coeficiente de escorrentía es adimensional y es representado con la letra C Villón (2004).

$$C = \frac{V_{de}}{V_{pi}} \frac{t_{si}}{t_{ti}} \quad (37)$$

El valor C depende de factores topográficos, edafológicos, cobertura vegetal, entre otros.

Los eventos extremos, es el efecto de los fenómenos extremos en las capacidades y valores de las personas afectadas depende de su vulnerabilidad, que es una función de su exposición y sensibilidad a esos fenómenos Melesse *et al.* (2019), junto con su capacidad de adaptación para disminuir el riesgo Scheffran (2020). El riesgo de inundación asociado al cambio climático es progresivo. Es decir, se evaluó estrategias actuales para determinar si seguirán siendo adecuadas, si es necesario reforzarlas o si requieren un enfoque totalmente nuevo Uitto y Shaw (2016).

Los extremos climáticos comprenden diferentes pautas meteorológicas más allá del rango normal del sistema climático, con diversas características de exposición Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012): frecuencia e intensidad (magnitud de los efectos físicos), variabilidad de las variables físicas (por ejemplo, temperatura, precipitación, velocidad del viento y cantidad de agua), escalas espaciales y temporales (períodos cortos de fuertes precipitaciones Uitto y Shaw (2016), inundaciones y deslizamientos de tierra, tormentas prolongadas, sequías más prolongadas y olas de calor en grandes zonas) Scheffran (2020). Es de importancia central orientar las medidas de adaptación para evaluar las estrategias de reducción de los riesgos de desastre en relación con los riesgos actuales, así como los cambios en los peligros futuros debidos al cambio climático Schleussner y Guillod (2020).

El cambio climático antropogénico tiene graves consecuencias en todo el mundo. Entre otros, la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías, las tormentas y las inundaciones, pueden afectar a la vida de millones de personas Scheffran (2020) Chow *et al.* (1994); Fernández (1995); Villón (2004); Fattorelli y Fernández (2011); Mejía (2012); MTC (2012). Las inundaciones son el riesgo que causa la mayoría de los desastres y las pérdidas económicas Renaud *et al.* (2016).

Los procesos hidrológicos, de la hidrología es la ciencia del agua Singh (2017) y está estrechamente relacionada con otras ciencias naturales Varouchakis (2019a); Varouchakis (2019b); estudia las fases líquida, gaseosa y sólida. Esto significa que la hidrología incorpora el estudio de la nieve y los glaciares Chen y Wang (2018). Se ocupa tanto de la calidad como de la cantidad que varían en el espacio y en el tiempo, por lo que la hidrología se ocupa de cómo se distribuye el agua Singh (2017). También incluye: 1) las aguas sobre y debajo de la superficie de la Tierra, su aparición, circulación y distribución; y 2) los procesos que rigen el agotamiento y la reposición de los recursos hídricos terrestres de la Tierra, y las diversas fases del ciclo hidrológico Singh (2017); Jain y Singh (2019).

La circulación del flujo de agua desde la atmósfera hasta la superficie de la Tierra o el océano desempeña un papel fundamental en la formación de la

superficie terrestre, creando un patrón de vegetación e impulsando los procesos de la atmósfera Chen y Wang (2018). El ciclo hidrológico puede verse como una máquina natural (Figura 1), un sistema de funcionamiento, destilación y bombeo constantes Singh (2017). Una serie de ciclos naturales en los que grandes cantidades de materia se mueven continuamente en la Tierra, incluyendo el ciclo hidrológico, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno y varios ciclos biogeoquímicos.

El ciclo hidrológico, o ciclo del agua, es el ciclo de la circulación del agua, que implica cambios en el estado físico del agua entre las fases líquida, sólida y gaseosa Jain y Singh (2019). Este ciclo es el intercambio continuo de agua entre la atmósfera, la tierra (que incluye las aguas superficiales y subterráneas), los océanos y los mares, y los organismos Beven (2012); Singh (2017); Jain y Singh (2019).



Figura 1. Diagrama esquemático del ciclo del agua

Fuente: adaptado de Chen y Wang (2018)

Todos los estudios que se ocupan del agua se refieren a alguna(s) parte(s) del

ciclo hidrológico Jain y Singh (2019). La disponibilidad y calidad del agua en muchos lugares está vinculada al crecimiento de la civilización humana, al igual que las actividades humanas, están modificando las características del ciclo hidrológico y sufriendo cambios Chow (1964); Haan *et al.* (1994b); Jain y Singh (2019).

La modelización hidrológica; se ha convertido en algo común en los últimos 25 años. Prácticamente todos los proyectos hidrológicos se basan en los resultados de la aplicación de un modelo hidrológico Haan *et al.* (1994b). Los modelos nos permiten estudiar problemas complejos y sintetizar diferentes tipos de información; los modelos hidrológicos son en realidad la representación conceptual de los procesos que transforman la lluvia en movimiento de agua en la superficie y debajo de la superficie Jain y Singh (2019).

Los modelos hidrológicos cumplen muchos fines útiles: determinar el rendimiento hídrico de una cuenca fluvial, simular la respuesta de una cuenca fluvial a los aportes, ampliar los registros observados y pronosticar las inundaciones Beven (2012); Singh (2017); Jain y Singh (2019). Los modelos se aplican para muchas tareas diferentes. Un modelo ayuda en la toma de decisiones Mackenzie (2019), particularmente cuando la comprensión del sistema es incompleta, faltan datos o hay que elegir entre varias opciones y no es posible trabajar con un sistema de la vida real para comprender las consecuencias de una decisión. Los modelos son muy útiles en esas situaciones Beven (2012); Khan (2015).

Los modelos hidrológicos pueden dividirse a grandes rasgos en dos categorías: modelos físicos y modelos matemáticos Singh (2017); Jain y Singh (2019); Mackenzie (2019). Un modelo físico se construye con "ladrillo y mortero" y es una versión a escala del sistema real. Actualmente, los modelos físicos no son comunes en la hidrología. Un modelo matemático es un conjunto de ecuaciones matemáticas (incluidas las ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales) y declaraciones lógicas que describen el comportamiento del sistema hidrológico Jain y Singh (2019). Los modelos hidrológicos pueden clasificarse en: 1) modelos para estimar el flujo máximo de una cuenca; 2) modelos para estimar el volumen de flujo; 3) modelos para calcular la hidrográfica completa; y 4) modelos integrados de cuencas Righetto (1998); Beven (2012); Khan (2015); Jain y Singh (2019).

La Figura 2, muestra un modelo, simulando el comportamiento del sistema real con entradas conocidas para producir la salida:

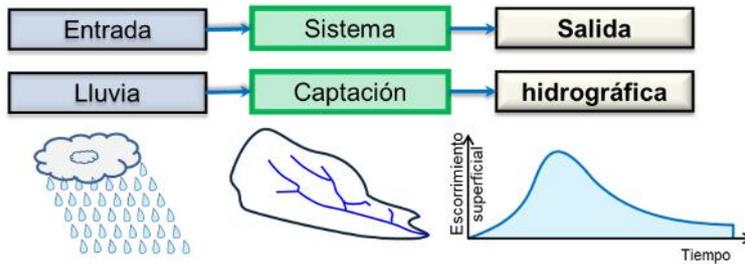


Figura 2. Representación de entrada, sistema y salida de un modelo matemático

Fuente: adaptado de Jain y Singh (2019)

Los modelos hidrológicos se han clasificado de muchas maneras. Algunos de los términos utilizados en la clasificación de los modelos son determinístico, paramétrico, estadístico, estocástico, basado en la física, empírico, caja negra, agrupado, lineal, no lineal, distribuido, teórico, predictivo, operacional, de investigación, de diseño, de similitud, icónico, analógico, numérico, de regresión, de evento, de simulación continua y conceptual Haan *et al.* (1994b).

Los modelos relacionados con el análisis de inundaciones pueden clasificarse en varios grupos: modelos de precipitaciones, modelos de encauzamiento de inundaciones y modelos de análisis de la frecuencia de las inundaciones Singh (2018); Mackenzie (2019), el éxito de un modelo hidrológico depende fundamentalmente de los datos disponibles para configurarlo y llevarlo a cabo Beven (2012).

Los modelos se utilizan para una variedad de estudios hidrológicos, el uso más común es evaluar el impacto de algún cambio físico dentro de una cuenca fluvial en la hidrología de esa cuenca Haan *et al.* (1994b). Estos modelos son esenciales para estudiar y modelar los procesos hidrológicos, así como el impacto de los factores antropogénicos modernos, como el cambio de uso de la tierra, la deforestación o incluso el aumento de la temperatura en el ciclo del agua Baghdadi y Zribi (2016).

Los modelos hidrológicos distribuidos; son el desarrollo de modelos en hidrología ha sido impulsado por las necesidades de la comunidad hidrológica en diversos momentos para Singh (2017); Singh (2018); Jain y Singh (2019):

- abordar los problemas cada vez más complejos de la evaluación y ordenación de los recursos hídricos debido al aumento de la demanda y la disminución de los recursos hídricos
- proporcionar mejores predicciones para la protección contra los desastres relacionados con el agua
- comprender mejor los impactos de los cambios en el uso de la tierra y la cubierta terrestre en la respuesta hidrológica
- hacer frente a la creciente contaminación de las masas de agua/recursos hídricos; y
- abordar los problemas derivados de los impactos del cambio climático.

Los modelos distribuidos basados en la física aplican los principios de la física para modelar el comportamiento hidrológico de una cuenca fluvial (Figura 3); en estos modelos, la cuenca fluvial se subdivide en pequeñas áreas elementales que pueden ser cuadrículas cuadradas o áreas de captación/idades de respuesta Singh (2017); Singh (2018); Jain y Singh (2019). Los modelos basados en la física están distribuidos espacialmente, ya que las ecuaciones rectoras subyacentes suelen implicar una o más coordenadas espaciales Jain y Singh (2019).

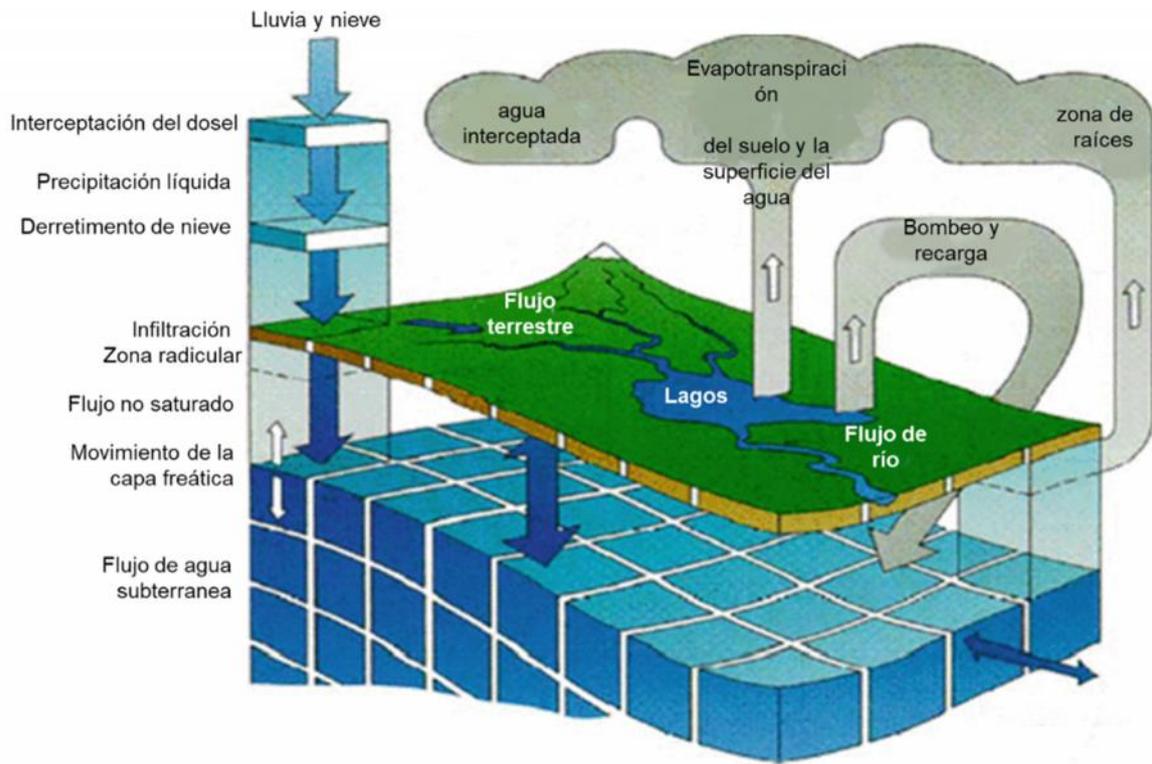


Figura 3. Diagrama de una cuenca y un modelo distribuido físicamente casi tridimensional

Fuente: adaptado de Singh (2017); Jain y Singh (2019)

3 METODOLOGÍA

El método científico busca explicar los eventos de la naturaleza de manera lógica y en la mayoría de los casos reproducible (Rousseau *et al.* 2018). Además, permite comprobar si la hipótesis de una investigación o estudio, si se merece el rango de ley Hernández *et al.* (2018); Fresno (2019). Las técnicas y los instrumentos serán utilizados durante la investigación a fin de realizar la investigación, del “cómo” se realizará la investigación para responder al problema planteado (Arias 2012).

La metodología del proyecto incluye el procedimiento formulado de manera lógica, la metodología está constituida por un conjunto de procesos para lograr la investigación Hernández *et al.* (2018); Fresno (2019), toda la metodología nos ayuda a demostrar la hipótesis. Las técnicas y los instrumentos que se han utilizado para llevar a cabo la investigación Hernández *et al.* (2018); Fresno (2019). Es el “cómo” se realizó el estudio para responder al problema planteado Arias (2012).

Según estas consideraciones, en esta investigación se aplicará el método *científico*.

3.1 Tipo y diseño de investigación

Para Oseda *et al.* (2015a); Baena (2017), mencionan diversas tipologías de la investigación; considerando la forma, estilos y enfoque desde un punto de vista semántico, para obtener los sistemas de conocimientos. El diseño de investigación es aplicada y diseño no experimental en donde el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo Hernández *et al.* (2018), la investigación cuantitativa estimula la realización de ajustes, con el fin de obtener información reunida en las fases previas, para lograr que se complete la información.

Se usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico Oseda *et al.* (2015a); Baena (2017), una vez obtenido la información e establecen pautas de comportamiento y probar teorías Wood y Smith (2017); Domínguez *et al.* (2018); Hernández *et al.* (2018). Finalmente en un experimento se analizan relaciones “puras” entre las variables de interés Ruiz

(2007); Hernández *et al.* (2014), sin contaminación de otras variables, después se establece relaciones causales con mayor precisión Fresno (2019).

De este modo la presente investigación es de tipo cuantitativa Ruiz (2007); Hernández *et al.* (2014), porque se busca recolectar información, teniendo como datos los conocimientos teóricos y prácticos aprendidos a lo largo del estudio de la carrera; dando medidas directas al problema en estudio Hernández *et al.* (2014); Hernández *et al.* (2018). La metodología cuantitativa, está constituida por un conjunto de técnicas a través de la que aproximarse a una población y profundizar sobre sus características, opiniones, preferencias o necesidades Domínguez *et al.* (2018).

La investigación aplicada, prioriza el estudio de un problema destinado a la acción (Baena 2017), y aporta hechos nuevos Valderrama (2013); Fresno (2019). Por ende, el nivel de investigación es aplicada; con esto se pretende mejorar la problemática existente. Además, esta investigación se basa en analizar a través de los métodos convencionales los caudales máximos de diseño, en la subcuenca de Ayaviri. El diseño de investigación no es experimental – correlacional Valderrama (2013); Baena (2017).

3.2 Variables y operacionalización

Variable dependiente: métodos convencionales

Variable Independiente: Caudales máximos de diseño

Título: Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020

Nombre: José Antonio Mamani Gómez

Variables dependientes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Y ₁ Métodos convencionales	Según Singh (2017), los métodos convencionales son usados para estimar las precipitaciones, así como los caudales, también denominado volumen de agua, también llamado cantidad de agua, que se mide en una unidad de tiempo.	Los métodos convencionales, se operacionaliza mediante sus dimensiones: Distribución Gumbel; Log Normal y Gamma (Pearson Tipo III), que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez cada una de las dimensiones, se subdividen en indicadores, como parámetros de forma, parámetros de posición y parámetros de escala	D ₁ : Distribución Gumbel D ₂ : Normal D ₃ : Gamma (Pearson Tipo III)	I1: Parámetros de forma I2: Parámetros de posición I3: Parámetros de escala	Registro histórico	Nominal

Variables independientes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala	
X ₁ Caudales máximos de diseño	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el estudio de la cuenca está delimitado por el curso principal, y los puntos más altos denominado la divisoria de agua. Las características geomorfológicas se analiza el área, longitud de la cuenca y su perímetro, pendiente, entre otros parámetros.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de características geomorfológicas, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en indicadores, como área, pendiente y densidad de drenaje.	D ₁ : Características geomorfológicas	I1: Área I2: Pendiente I3: Densidad de drenaje		Razón Nominal	
	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el total de lluvia en 24 horas que se registra en un evento, es registrado por las estaciones meteorológicas, se calculan las máximas mensuales y de la serie histórica de máximas mensuales.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de precipitación de 24h, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en los indicadores, como alto, medio y bajo.	D ₂ : Precipitación de 24h		I1: Alta < 600 mm/año I2: Media 601 - 799 mm/año I3: Baja > 800 mm/año	Ficha de recopilación de información	Nominal
	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el período de retorno (T) es un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado, también es la cantidad de tiempo para la cual la probabilidad de ocurrencia se distribuye uniformemente en los periodos que componen dicha cantidad de tiempo. También llamado período de recurrencia, es considerado un concepto estadístico.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de tiempo de retorno, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en indicadores, como Tiempo de retorno de 50, 100 y 200 años.	D ₃ : Periodo de retorno		I1: Tiempo de retorno 50 I2: Tiempo de retorno 100 I3: Tiempo de retorno 200		Razón Intervalo

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Según Arias (2012), la población es el conjunto de elementos de los que se quiere conocer o investigar, considerando como alguna o algunas de sus características que se va estudiar o son necesarias para la investigación.

De acuerdo a lo mencionado, el registro de estaciones de caudales de las estaciones que se encuentran en la subcuenca de Ayaviri.

3.3.2 Muestra

Para Arias (2012), a la muestra le considera un subconjunto representativo de un universo o población para ser estudiado o realizar la investigación; se describe en este ítem la población y sus características, el tamaño y la forma de selección de la muestra, considerando el tipo de muestreo, verificando la homogeneidad, o las pruebas necesarias para que se use adecuadamente durante la investigación para su análisis correspondiente.

Para efectos de la investigación se trabajó con los datos de las estaciones pluviométricas considerando la precipitación máxima de 24 horas para luego convertirle a escorrentía o caudal máximo para el diseño de obras hidráulicas, mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca de Ayaviri.

3.3.3 Muestreo

Para Wood y Smith (2017), el muestreo es una decisión práctica, donde se realiza el muestro de datos, este elemento recoge los datos de forma representativo. Se usa cuando la población es demasiado grande como para captar todas las variables necesarias para la investigación.

El muestreo de esta investigación es el no probabilístico de los caudales máximos, ya que se evaluó para distintos tiempos de retorno.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

3.4.1 Técnicas

Las técnicas de recolección de datos Arias (2012), son las maneras de obtener la datos o la información necesaria para la investigación, considerando la

observación directa, la encuesta oral y la encuesta escrita, la entrevista, entre otros.

3.4.2 Instrumento de datos

Según Arias (2012), los instrumentos son los materiales que son usados para recolectar, recoger y almacenar la información durante la investigación, de los cuales se considera las fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, lista de cotejo, grabador de audio, cámara fotográfica, cámara de video, entre otros.

Como herramienta de trabajo se utilizan hojas de cálculo en Excel y Sistemas de Información Geográfica, el cual me permitió realizar los cálculos y la georreferenciación de los mapas que se necesitaba durante la investigación.

3.4.3 Validez

Según Wood y Smith (2017), la validez se centra en hasta qué punto los métodos pueden considerarse como algo fiable y preciso dentro del contexto de la investigación en la que se usan, es considerado una afirmación que se realiza en una investigación y está vinculado a los métodos de investigación que se han usado; la validez se ha entendido de diversas maneras en relación al vínculo entre afirmaciones y métodos.

Para Domínguez *et al.* (2018) la validez se conecta a tres dimensiones principales: construcción del test (mide las dimensiones que se pretenden valorar), contenido (muestra si las preguntas incluidas en este instrumento reflejan lo que se pretende medir) y el criterio (muestra la correlación entre las puntuaciones de las pruebas realizadas). Los instrumentos pueden presentar cuatro tipos de validez: de contenido, predictiva, concurrente, y de constructo.

3.4.4 Análisis de validez

En cuanto al análisis de validez al cual fue sometido la presente investigación y la evaluación de tres ingenieros expertos Valderrama (2013); Oseda *et al.* (2015a); Mias (2018), se ha valorado según las metodologías y dimensiones especificadas en la presente investigación con un puntaje de 0 a 1 en cada uno de las dimensiones consideradas de la investigación por cada objetivo Oseda *et al.* (2015a); finalmente se valorado los tres análisis realizando finalmente un promedio simple.

De acuerdo a Oseda *et al.* (2015b) se establece los siguientes parámetros de validez.

Tabla 1. Parámetros de Validez

Rango	Magnitud
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.65	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente válida
1.00	Validez perfecta

Fuente: Oseda *et al.* (2015b)

Para la validez de contenido de las variables para la determinación de los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020, se ha tenido la evaluación por los siguientes pares:

Tabla 2. Validez de contenido de las variables

N°	Grado Académico	Nombres y apellidos	DNI	CIP	Dictamen	Evaluación
1	Ingeniero/Magister	Roberto Alfaro Alejo	01325117	63562	0.918	
2	Ingeniero	Walter Máximo Condori Llanos	01316107	65997	0.924	0.934
3	Ingeniero	Ysaias Choquegonza Huiracocha	01328750	77361	0.960	

Por lo tanto, el instrumento según los parámetros de validez se considera con excelente validez, según la Tabla 1.

3.4.5 Confiabilidad

La investigación realizada es confiable, Hernández *et al.* (2014), recomienda que la información debe ser calculada y realizar el análisis de toda la información recolectada; además, debe de estar debidamente citada. Para los autores Domínguez *et al.* (2018); Mias (2018), recomiendan que se debe tener cuidado en la digitalización de los datos, así tener una buena fidelidad en el momento de uso y procesamiento del software para realizar los cálculos de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca de Ayaviri; de modo que nos permita dar solución a la realidad problemática presentada.

La confiabilidad se define como refiere Oseda *et al.* (2015b) consiste en determinar qué tan consistente son los datos obtenidos durante la recolección de datos para la investigación, la prueba de confiabilidad nos ayuda a tener la certeza que los resultados se empleará en múltiples aplicaciones y usos para su interpretación. Para Mias (2018), existen varias formas de medir la confiabilidad, con puntajes que van a oscilar entre 0 -1: coeficiente Alfa de Cronbach, medida de estabilidad, método de mitades partidas y el coeficiente KR-20 de Kuder que es similar al coeficiente alfa, pero se puede aplicar cuando la variable es dicotómica.

3.5 Procedimientos

Cumpliendo los análisis de confiabilidad y validez se aplicó en la subcuenca de Ayaviri donde se cuenta con 05 estaciones los cuales son: Ayaviri, Pampahuta, Llally, Santa Rosa y Chuquibambilla. Las etapas generales que se han considerado son:

Etapas I: Se realizó la inducción y la recolección de fuentes primarias y el recorrido de la zona de estudio a fin de recabar la información necesaria.

Etapas II: Recolección de información secundaria y el procesamiento de los datos obtenidos.

Etapas III: Redacción final: procesamiento y análisis de la información obtenida en campo, y la presentación final de la investigación.

3.5.1 Estudios previos

La investigación realizada es confiable, ya que, la información recolectada está debidamente citada y con sus respectivas referencias. Así mismo con el correcto procesamiento, para la zona de estudio.

El ámbito de estudio de la presente investigación se encuentra en el distrito de Ayaviri, provincia Melgar y departamento Puno; es parte como una subcuenca del río Ramis. Se encuentra ubicado entre la latitud sur 14°52'21.6" y longitud oeste 70°35'34.4", con una altitud media de 3928 m.s.n.m.

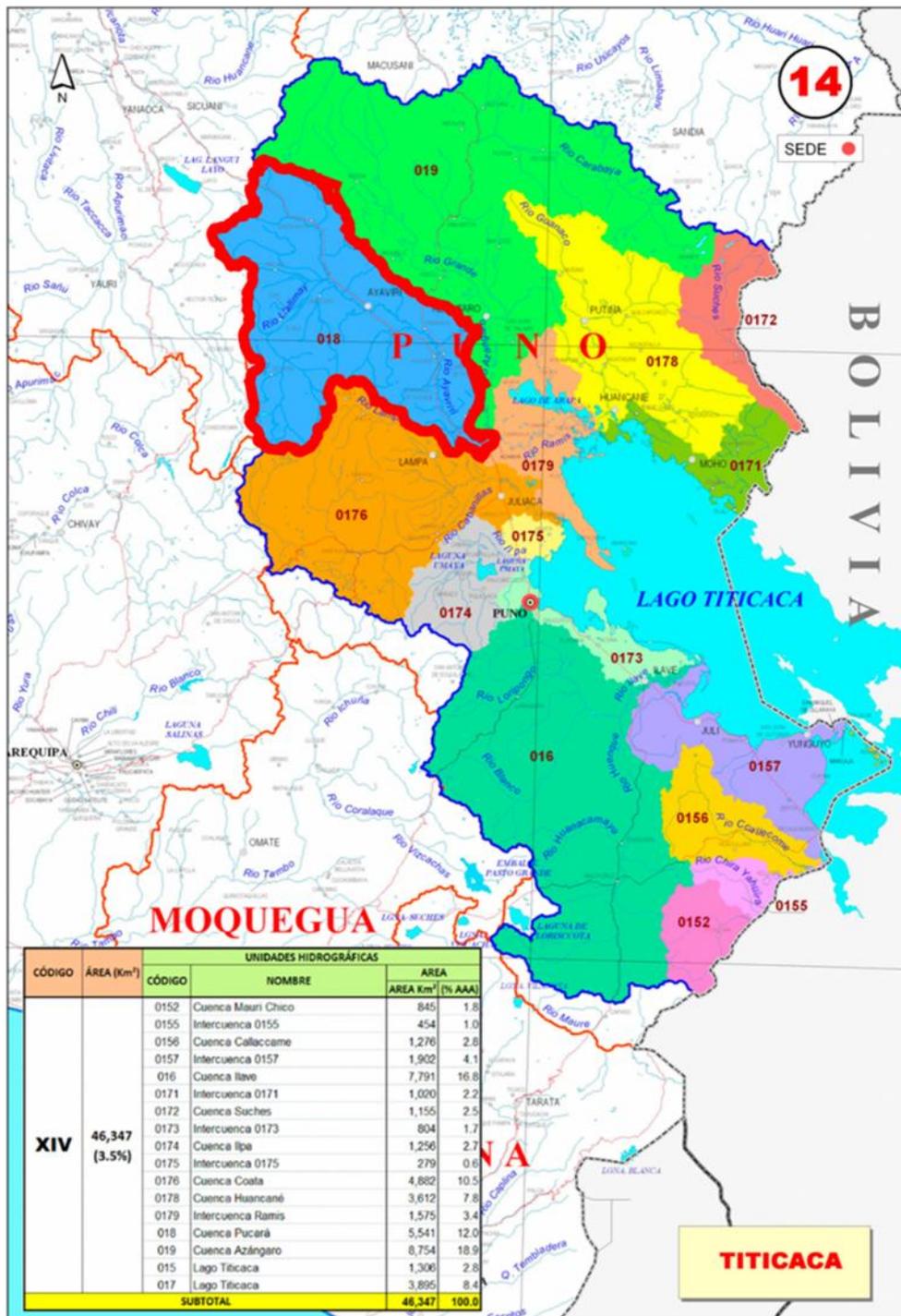


Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Adaptado de Mamani (2014),

En los siguientes párrafos se describe el medio ambiente, la parte social, factores abióticos, bióticos, sociales y económicos considerando como base a la descripción que realiza Mamani (2014), en la investigación del modelamiento hidráulico de la cuenca de Ayaviri.

La zona de estudio está a 3902 m.s.n.m. de altitud correspondiendo a la región Suni del altiplano. Según Holdridge, se halla en la zona de vida Bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS) y de acuerdo a la influencia termorreguladora del lago Titicaca, determinada por ONERN, se halla dentro del sub tipo climático "C" con una precipitación pluvial que varía de 3.7 a 2.1 mm en los meses de junio a julio prácticamente la precipitación en estos meses es casi nula, mientras que en enero y febrero la precipitación varía de 144.3 a 122.6 mm haciendo una precipitación promedio anual de 662 mm, la temperatura media mensual varía de 4.5 a 4.2 °C en los meses de junio a julio a 9.7°C en los meses de noviembre a enero, Humedad Relativa que fluctúa entre 43% en el mes de julio a 66 % en el mes de febrero, la velocidad del viento oscila entre 2.0 Km./hr en los meses enero a marzo a 6.6 Km./hr en los meses julio a agosto.

El caudal máximo registrado por el SENAMHI en la estación de aforo del río Ayaviri, es de 180 m³/s, el mismo que provoca el desborde del río Ayaviri.

El recurso fauna consta de fauna silvestre, así como "pato puna" *Anas versicolor* "lekécho" *Vanellus resplendens*, "Gabiota" principalmente, y "Huallatas" o ganso andino; y fauna doméstica el cual está representado por "Alpaca" *Lama pacus*, "Llama" *Lama glama*, "Ovinos" *Ovis aries* y vacunos *Bos taurus*.

Los pobladores que viven en ambas márgenes del río Ayaviri son más vulnerables a los desbordes del río o las inundaciones que son recurrentes, eso implica que se las márgenes del río Ayaviri sea protegido en ambas márgenes, así como la descolmatación del mismo.

Los factores económicos; es la principal actividad y predominante es la agricultura y la pecuaria, tiene alta producción de ganado vacuno, ovino y de camélidos sudamericanos, la agricultura de la papa y cereales se da con mucha dificultad, debido a lo difícil de las condiciones climáticas del lugar. La industria de transformación es casi inexistente y es representada por molinos artesanales.

El ámbito de estudio de la presente investigación se encuentra en el distrito de Ayaviri, comprendido, hasta límites finales de la ciudad de Ayaviri. El sector analizado en el presente estudio, corresponde desde la confluencia del riachuelo Puncu Puncu y el río Ayaviri pasando por la estación hidrométrica del puente Ayaviri

hasta los límites finales de la ciudad de Ayaviri.

Con relación a la dinámica fluvial tenemos que en los períodos de grandes avenidas se producen las inundaciones siendo la acción erosiva restringida a las zonas meándricas. El río Ayaviri en época de lluvias genera un alto riesgo de inundación en su margen derecha donde se encuentra la población de Pueblo Libre y en margen izquierda afectando al barrio Ccahuasi Mashí.

3.6 Método de análisis de datos

Como método de análisis se empleó la estadística descriptiva para el cálculo de la estimación de caudales máximos probabilísticos. El proceso de información se realizó con el auxilio de Microsoft Excel.

Para analizar la caracterización geomorfológica se identificarán las estaciones meteorológicas y estaciones hidrométricas existentes, a fin de recabar datos de precipitación y algunas características de la subcuenca. Se apoyará del Sistema de Información geográfica (SIG) durante todo el proceso de la caracterización, como principales características de la cuenca se tiene:

a) Información fisiografía

La Cuenca del río Ayaviri tiene un área de 3717.24 km², se encuentra entre las cotas de 4750 msnm a 3914 msnm. Las características fisiográficas de la cuenca se pueden observar en la Tabla 3. La longitud total del río principal es de 108.13 Km resultando una pendiente de 7.73%. Presenta una dirección Noreste a Suroeste, y su altura media es de 4,332.00 msnm. La cuenca presenta un drenaje rectangular según observación realizada.

La cuenca del río Ayaviri está conformado por: unidades hidrográficas de Llallimayo, Macarimayo, Santa Rosa, Ayaviri y la Intercuenca Llallimayo, los mismo que se dividieron en el presente trabajo de investigación de la siguiente manera con el fin de facilitar el análisis para generar los diferentes caudales de cada una de las unidades hidrográficas antes indicadas. Los ríos principales de la cuenca del río Ayaviri son: Llallimayo, Macarimayo, Santa Rosa y Ayaviri.

Tabla 3. Características fisiográficas de la cuenca en estudio

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud curso (km)	Pendiente (%)	Cota Máx. (msnm)	Cota Min. (msnm)
Río Ayaviri	3717.24	359.43	108.13	7.73	4750.00	3914.00

Seguidamente se presenta las características geomorfológicas de la cuenca.

Tabla 4. Características geomorfológicas de la cuenca en estudio

PARAMETROS			UND	NOMENCLATURA	CUENCA	
Superficie total de la cuenca			Km ²	At	3717.240	
Perímetro			Km.	P	359.430	
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coefficiente de Compacidad (Gravelius)	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.663	
		Longitud de la Cuenca	Km.	LB	108.130	
		Ancho Medio de la Cuenca	Km.	$AM = At / LB$	34.378	
		Factor de Forma	s/U	$Kf = AM / LB$	0.318	
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km.	$Kc^*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	157.455	
		Lado Menor	Km.	$Kc^*(\pi*A)^{1/2}/2*(1-(1-4/\pi*Kc^2))$	23.608	
	Densidad de drenaje			Km./Km ² .	Dd = Lt / At	4130.106

Las características geomorfológicas de la cuenca nos ayudan a entender sobre los procesos que ocurre en la cuenca, además nos sirve como un diagnóstico para poder determinar alguna acción.

b) Información meteorológica

De la información registrada por el SENAMHI – Puno; en el presente trabajo de investigación se hace uso de las precipitaciones máximas en 24 horas históricas registradas, comprendidos entre los periodos de 1963 a 2018.

Para el análisis de la precipitación máxima en 24 horas, se realizó la completación y extensión de datos de precipitaciones que no cuentan con datos completos por tratarse de eventos extremos de todas las estaciones que involucran la zona de estudio. Se obtuvo la serie histórica de precipitaciones que corresponde a un conjunto de 05 estaciones pluviométricas que son: Ayaviri, Chuquibambilla, Santa Rosa, Pampahuta y Llally, para luego seleccionar el número de observaciones de cada una de las estaciones (como se observa en la Tabla 5) y se realizó el análisis probabilístico, periodo de retronó y su distribución de probabilidad (distribución normal, distribución Gumbel y distribución Pearson tipo III).

Tabla 5. Precipitación máxima en 24 horas por estaciones

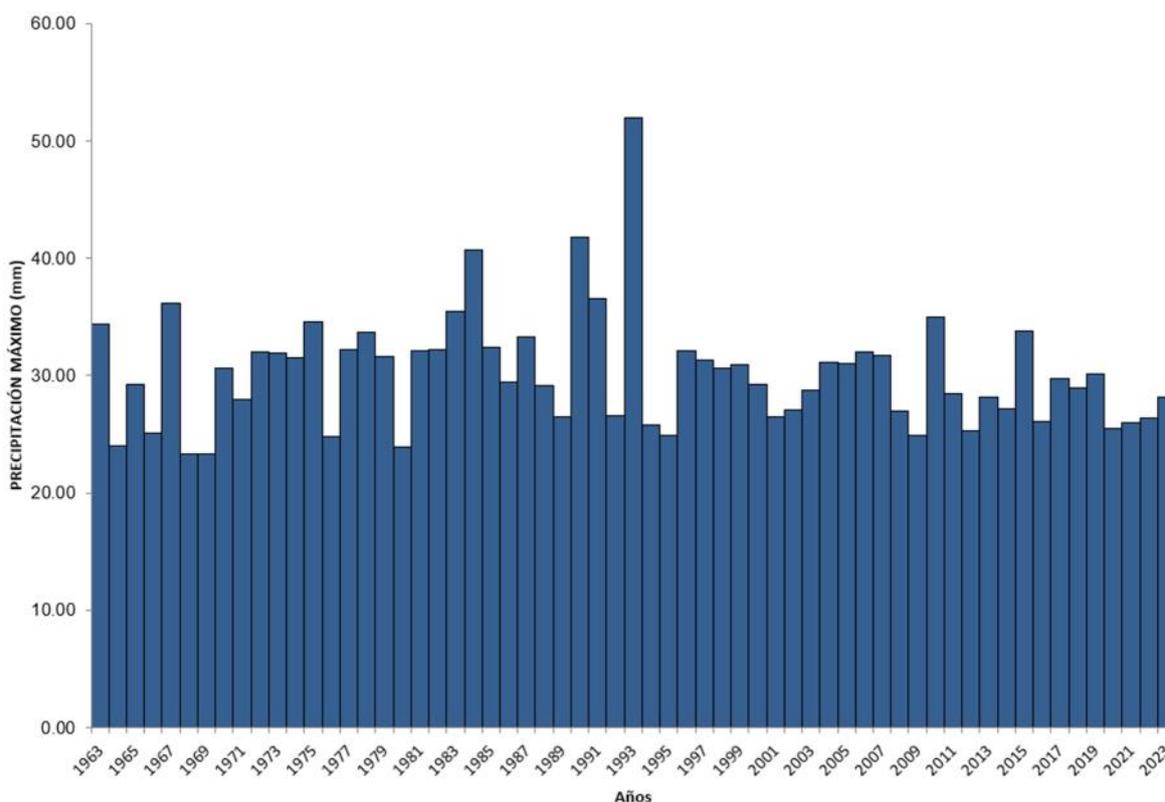
Año	Pampahuta	Año	Ayaviri	Año	Chuquibambilla	Año	Santa Rosa	Año	Llally
1963	40.10	1963	*	1963	*	1963	*	1963	*
1964	24.90	1964	*	1964	*	1964	*	1964	25.00
1965	35.20	1965	35.50	1965	*	1965	*	1965	25.00
1966	22.50	1966	25.50	1966	*	1966	*	1966	20.00
1967	28.20	1967	29.00	1967	*	1967	*	1967	35.00
1968	32.50	1968	18.00	1968	*	1968	*	1968	25.00
1969	45.70	1969	25.20	1969	*	1969	*	1969	24.00
1970	33.30	1970	17.00	1970	*	1970	*	1970	25.00
1971	33.60	1971	31.00	1971	*	1971	*	1971	20.00
1972	35.40	1972	25.00	1972	*	1972	37.30	1972	*
1973	31.40	1973	20.50	1973	37.10	1973	40.00	1973	29.00
1974	33.10	1974	16.40	1974	*	1974	37.10	1974	25.00
1975	26.20	1975	20.50	1975	29.30	1975	33.00	1975	*
1976	35.20	1976	19.70	1976	23.30	1976	36.80	1976	24.50
1977	27.00	1977	15.00	1977	20.20	1977	25.00	1977	*
1978	34.00	1978	*	1978	41.70	1978	*	1978	30.40
1979	31.80	1979	*	1979	29.00	1979	*	1979	24.20
1980	36.50	1980	*	1980	26.90	1980	*	1980	16.50
1981	45.30	1981	*	1981	32.50	1981	*	1981	*
1982	22.90	1982	38.70	1982	26.00	1982	*	1982	*
1983	30.40	1983	23.00	1983	15.60	1983	*	1983	*
1984	43.60	1984	120.30	1984	40.80	1984	*	1984	*
1985	32.60	1985	*	1985	21.10	1985	*	1985	*
1986	35.70	1986	*	1986	19.50	1986	*	1986	*
1987	25.20	1987	33.40	1987	34.50	1987	*	1987	*
1988	32.40	1988	23.10	1988	27.80	1988	*	1988	*
1989	34.30	1989	20.50	1989	25.70	1989	*	1989	*
1990	27.10	1990	40.20	1990	27.40	1990	*	1990	*
1991	32.10	1991	52.20	1991	42.20	1991	*	1991	*
1992	36.60	1992	*	1992	31.90	1992	27.80	1992	*
1993	36.30	1993	92.00	1993	34.50	1993	16.90	1993	*
1994	37.30	1994	30.10	1994	26.60	1994	20.60	1994	29.00
1995	25.40	1995	26.00	1995	23.20	1995	17.40	1995	25.20
1996	39.80	1996	31.60	1996	24.20	1996	24.80	1996	41.00
1997	42.30	1997	*	1997	33.00	1997	23.30	1997	27.10
1998	38.00	1998	41.20	1998	27.80	1998	*	1998	35.90
1999	38.60	1999	34.70	1999	26.50	1999	*	1999	35.10
2000	34.40	2000	42.40	2000	19.00	2000	24.80	2000	28.60
2001	49.90	2001	20.00	2001	37.50	2001	28.60	2001	*
2002	47.90	2002	28.00	2002	24.00	2002	22.30	2002	26.00
2003	36.40	2003	34.00	2003	42.80	2003	24.00	2003	18.00
2004	40.00	2004	27.80	2004	32.50	2004	31.90	2004	34.50
2005	43.30	2005	33.30	2005	34.10	2005	25.70	2005	30.80
2006	33.10	2006	38.50	2006	*	2006	26.20	2006	21.40
2007	33.00	2007	27.70	2007	34.70	2007	42.20	2007	33.60
2008	38.60	2008	32.90	2008	31.80	2008	29.20	2008	30.70
2009	26.30	2009	39.30	2009	26.60	2009	15.90	2009	25.00
2010	32.70	2010	26.20	2010	59.20	2010	19.00	2010	27.40
2011	31.10	2011	39.70	2011	24.20	2011	37.20	2011	32.50
2012	49.90	2012	18.80	2012	24.50	2012	21.20	2012	29.00
2013	22.10	2013	23.40	2013	31.50	2013	17.50	2013	35.30
2014	*	2014	26.00	2014	29.70	2014	21.70	2014	25.50
2015	*	2015	22.10	2015	45.30	2015	25.20	2015	*
2016	*	2016	*	2016	33.50	2016	*	2016	*
2017	*	2017	24.50	2017	21.20	2017	*	2017	37.30
2018	*	2018	*	2018	*	2018	*	2018	*
2019	*	2019	*	2019	*	2019	*	2019	*
2020	*	2020	*	2020	*	2020	*	2020	*
2021	*	2021	*	2021	*	2021	*	2021	*
2022	*	2022	*	2022	*	2022	*	2022	*
2023	*	2023	*	2023	*	2023	*	2023	*
N° Obs.	51.00		44.00		43.00		28.00		35.00

Nota: * Se completo y extendió los datos incompletos.

Según la Tabla 5, se consideraron 51 datos para la estación de Pampahuta, 44 datos para la estación de Ayaviri, 43 datos para la estación de Chuquibambilla, 28 datos para la estación de Santa Rosa y 35 datos para la estación de Llally para su respectivo análisis probabilístico.

c) La función de densidad de probabilidad normal

Como función de la normalidad se tiene el histórico de las precipitaciones de 24 horas consolidadas de las estaciones involucradas por el método de área:



3.6.1 Estimación de caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros para el presente método son el promedio (\bar{X}_i) = 30.21, la desviación estándar (S_x) = 4.92, los factores a considerar son: parámetro de posición (m) = 27.908 y parámetro de escala (a) = 6.396, en donde X_i = variable de la muestra.

Tabla 6. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Gumbel

Tr	P	Yt	Xt
2	0.500	0.367	30.255
5	0.200	1.500	37.502
10	0.100	2.250	42.299
20	0.050	2.970	46.904
50	0.020	3.902	52.865
100	0.010	4.600	57.330
200	0.005	5.296	61.781
500	0.002	6.214	67.653
1000	0.001	6.907	72.085

3.6.2 Calculo de los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros necesarios para el presente método son el promedio (\bar{X}_i) = 30.21 y la desviación estándar (S_x) = 4.92, en donde X_i = variable de la muestra.

Tabla 7. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Normal

Tr	P	W	Z	Xt
2	0.500	1.177	-0.001	30.200
5	0.200	1.794	0.841	34.350
10	0.100	2.146	1.282	36.520
20	0.050	2.448	1.646	38.310
50	0.020	2.797	2.054	40.320
100	0.010	3.035	2.327	41.660
200	0.005	3.255	2.576	42.880
500	0.002	3.526	2.879	44.380
1000	0.001	3.717	3.091	45.420

3.6.3 Estimación de los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros para el presente método fueron el promedio (\bar{X}_i) = 30.21, la desviación estándar (S_x) = 4.92, el coeficiente de asimetría. (C_s) = 1.68 y los coeficientes de parámetro de forma (g) = 1.41, parámetro de escala (b) = 4.14

y parámetro de posición (X_0) = 24.37, en donde X_i = variable de la muestra.

Tabla 8. Estimación de precipitaciones máxima en 24 horas por la distribución Gamma

Tr	P	W	Z	Kt	Xt
2	0.500	1.177	-0.001	-0.260	28.930
5	0.200	1.794	0.841	0.650	33.410
10	0.100	2.146	1.282	1.310	36.660
20	0.050	2.448	1.646	1.960	39.850
50	0.020	2.797	2.054	2.800	43.990
100	0.010	3.035	2.327	3.450	47.180
200	0.005	3.255	2.576	4.090	50.330
500	0.002	3.526	2.879	4.950	54.570
1000	0.001	3.717	3.091	5.610	57.810

3.7 Aspectos éticos

Se cumplió con la ética del investigador bajo las normas nacionales e internacionales, así garantizar la calidad ética de la investigación.

Para la selección de los modelos probabilísticos se aplicaron las siguientes funciones de distribución de frecuencia: Distribución Gumbel, Normal y Gamma (Pearson Tipo III).

4 RESULTADOS

Los resultados se muestran en el orden de los objetivos:

a) Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas

Las tablas siguientes muestran el resultado de la estimación de los eventos extremos para cada serie histórica de las estaciones del ámbito de la zona de estudio, según la metodología descrita en el capítulo anterior.

Tabla 9. Resumen de estimación de eventos extremos para diferentes periodos de retorno de la estación – Ayaviri.

TABULAR	TEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES		
TABULAR	DISTRIBUCION GAMMA	DISTRIBUCION GUMBEL	DISTRIBUCION GAMA
0.1190	0.0917	0.0733	0.1051

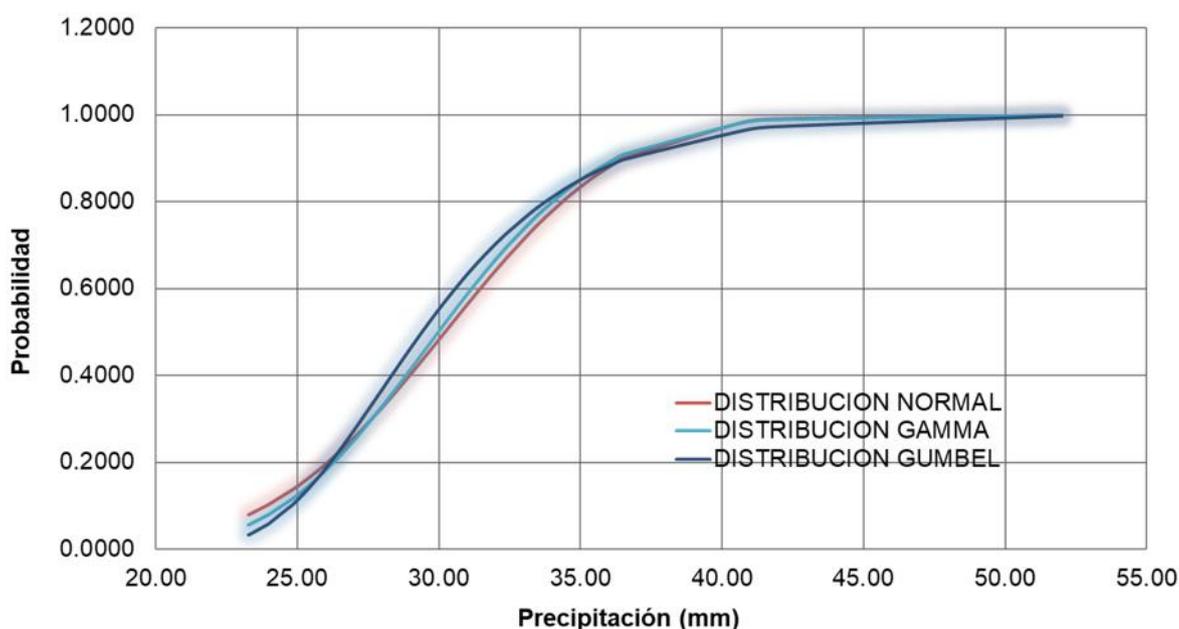


Figura 5. Comparación de las diferentes distribuciones teóricas para las precipitaciones

b) Ajuste de distribuciones de probabilidad

La bondad de ajuste de los modelos Probabilísticos, se evaluó mediante pruebas estadísticas de doble masa.

Tabla 10. Ajuste del análisis de doble masa

Ajuste	Pampahuta	Ayaviri	Chuquibambilla	Santa Rosa	Llally
R^2	0.9995	0.9984	0.9997	0.9948	0.9995

Las estaciones tienen un buen ajuste, con un R^2 cerca de 1. Lo mismo se aprecia en la Figura 6.

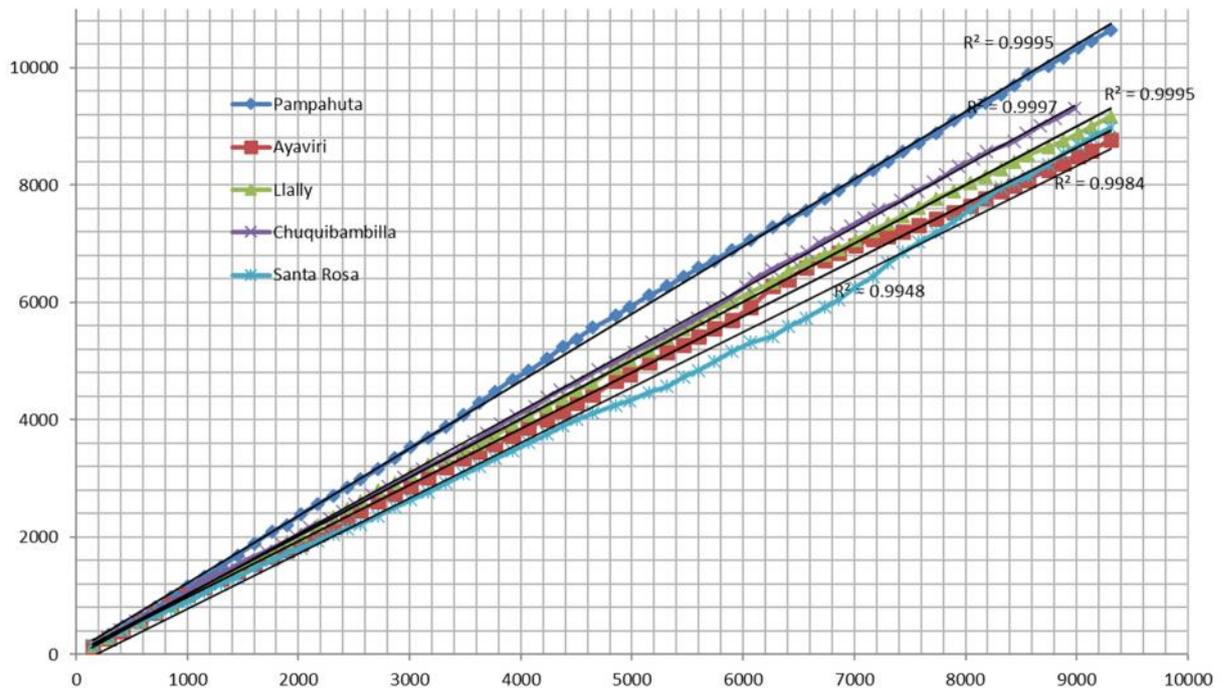


Figura 6. Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas

En la tabla siguiente se tienen la prueba t y la prueba de estacionaridad de Spermán, se realizó subdividiendo los años históricos del periodo de 1963 a 1993 y el segundo del 1994 a 2023.

Tabla 11. Valores de t en la prueba de estacionaridad de Spermán

1963 a 1993	rs	0.36815
	Var(rs)	0.03333
	t	2.01641
1994 a 2023	rs	-0.18621
	Var(rs)	0.03448
	t	-1.00275

Como los valores de t en la prueba de estacionaridad de Spermán estuvieron

dentro del rango de $t_{2.5\%} = -1.96$ y $t_{97.5\%} = +1.96$, se concluye que la serie histórica es estacionaria.

c) Selección de las distribuciones de probabilidad

De las estaciones seleccionadas (Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa) que involucran la zona de estudio. Una vez determinado los valores de precipitaciones máximas diarias se realizó un análisis de frecuencias de eventos hidrológicos máximos, procesando dicha información por medio de un análisis probabilístico, en donde se ha empleado las distribuciones de frecuencia más usuales como son: distribución normal, distribución Gumbel, y distribución Log Pearson III, para ello se recurrió al software de cómputo, XLSTAT 2009 y Hyfran Plus.

Para determinar qué tan adecuado es el ajuste de los datos a una distribución de probabilidades se han propuesto una serie de propuestas estadísticas que determinan si es adecuado el ajuste. Las pruebas de ajuste son ajuste gráfico, prueba de Chi-Cuadrado, prueba de Smirnov - Kolmogorov y método error cuadrático siendo empleada las pruebas de ajuste antes indicadas.

Tabla 12. Áreas de Influencia de las Estaciones Meteorológicas por unidades hidrográficas

Unidad hidrográfica	Area y Factor	Estaciones					Subtotal
		Ayaviri	Chuquibambilla	Llally	Pampahuta	Santa Rosa	
Llallimayo	Area (Km ²)		32.93	1024.55	291.75		1349.23
	Factor (%)		2.44%	75.94%	21.62%		100.00%
Macarimayo	Area (Km ²)		102.28	156.39		374.17	632.84
	Factor (%)		16.16%	24.71%		59.13%	100.00%
Intercuenca Llallimayo y Macarimayo	Area (Km ²)		4.65				4.65
	Factor (%)		100.00%				100.00%
Santa Rosa	Area (Km ²)		104.43			801.70	906.13
	Factor (%)		11.52%			88.48%	100.00%
Ayaviri	Area (Km ²)	393.18	246.56	184.65			824.39
	Factor (%)	47.69%	29.91%	22.40%			100.00%
		Ayaviri	Chuquibambilla	Llally	Pampahuta	Santa Rosa	Total
	Area (Km ²)	393.18	490.85	1365.59	291.75	1175.87	3717.24
	Factor (%)	10.58%	13.20%	36.74%	7.85%	31.63%	100.00%

Finalmente, se obtuvieron los resultados de precipitación máxima en 24 horas en la para diferentes períodos de retorno como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno de las estaciones que involucran el área del estudio

Tr	50	100	200
Pmax 24h	43.731	46.556	48.364

Según la comprobación gráfica y estadísticamente de las pruebas de bondad y ajuste se ha obtenido las precipitaciones máximas en 24 horas para los distintos periodos de retorno de las diferentes distribuciones, para determinar el orden de magnitud por la precipitación de las estaciones Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa.

d) **Determinación de la precipitación de cada área**

Para determinar la precipitación areal de las unidades hidrográficas que conforman la cuenca del río Ayaviri se determina por el método de Thiessen, por polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de las unidades hidrográficas con el apoyo del software ArcGis 10.4, el mismo que se muestra en la siguiente Figura 7.

De acuerdo a la Figura 7, se ha obtenido las áreas de los polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas por unidades hidrográficas (Santa Rosa, Macariyo, Llallimayo, Intercuenca Llallimayo y Ayaviri), cuyos resultados se muestra, en la Tabla 14 siguiente.

Tabla 14. Áreas de influencia de las estaciones meteorológicas ponderadas por unidades hidrográficas

Unidad hidrográfica	Área (km ²)	Factor (%)	Precipitación ponderada periodos de retorno (años)		
			5	50	100
Santa Rosa	906.13	100.00%	40.45	57.11	61.71
Macarimayo	632.84	100.00%	35.01	47.68	51.14
Llallimayo	1,349.23	100.00%	23.79	27.84	28.88
Intercuenca Llallimayo	4.65	100.00%	40.3	56.4	60.8
Ayaviri	824.39	100.00%	35.7	49.54	53.38

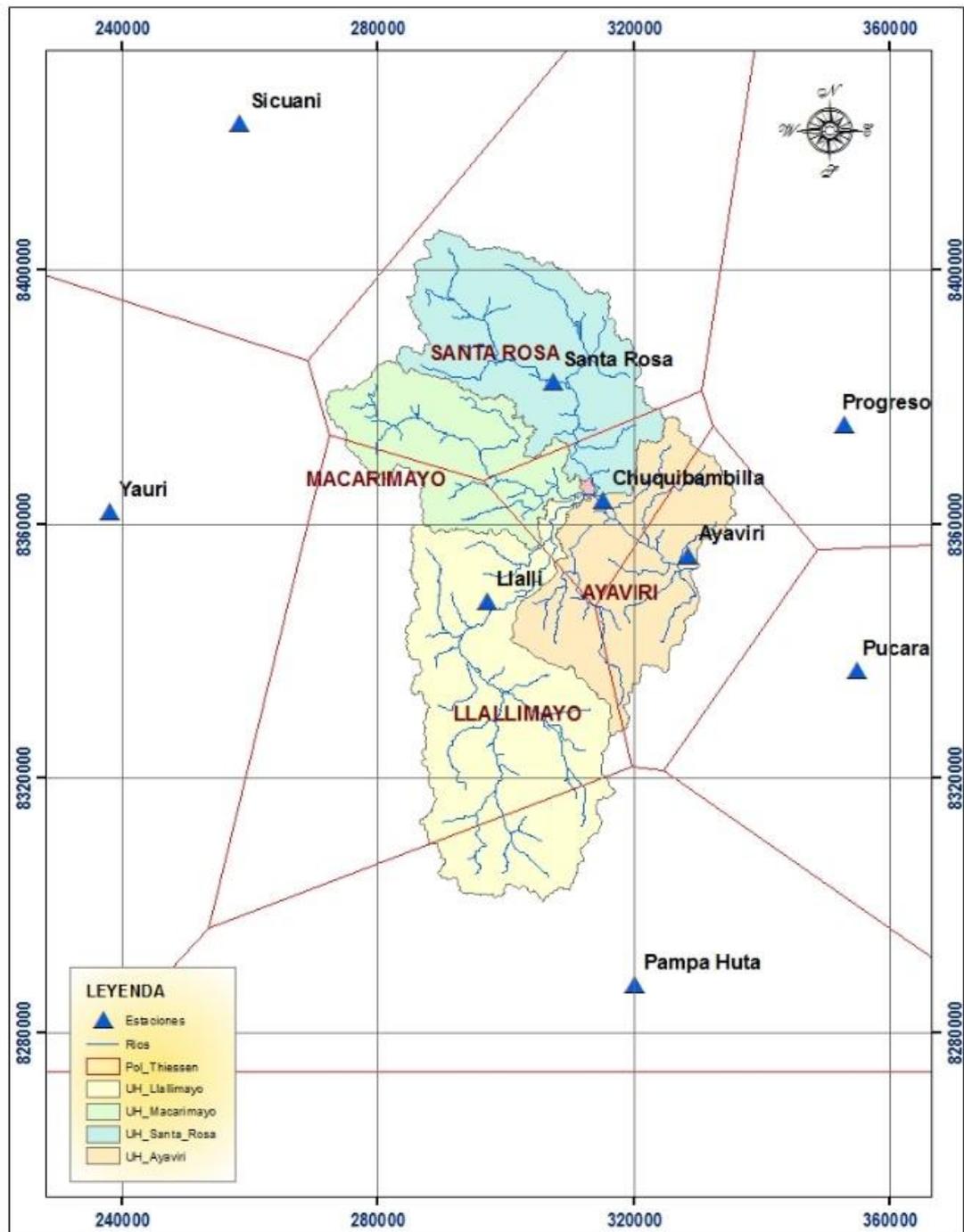


Figura 7. Polígonos de Thiessen de la cuenca del río Ayaviri por unidades hidrográficas

Los resultados de las precipitaciones ponderadas para diferentes periodos de retorno, obtenidas del área de influencia de cada una de las estaciones por unidades hidrográficas. Además, se tiene la frecuencia relativa, frecuencia relativa

acumulada y función densidad del análisis de las precipitaciones de 24 horas como se muestra en la Figura 8.

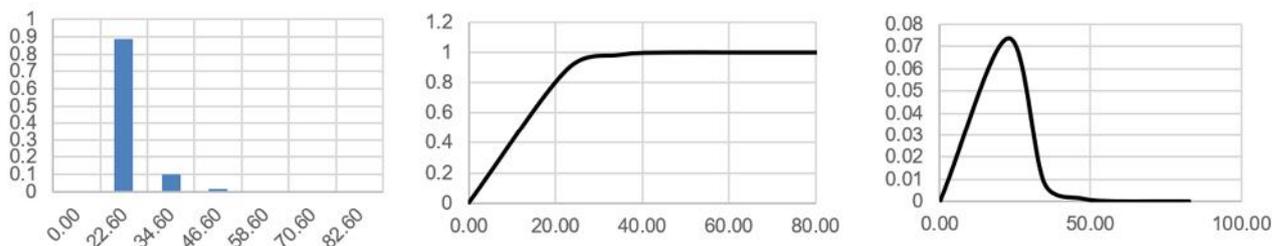


Figura 8. Frecuencia relativa, frecuencia relativa acumulada y función densidad

4.1.1 Estimación de caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros para el presente método son el promedio (\bar{X}) = 30.21, la desviación estándar (S_x) = 4.92, los factores a considerar son: parámetro de posición (m) = 27.908 y parámetro de escala (a) = 6.396, en donde X_i = variable de la muestra. Para el análisis se realizó con la distribución Gumbel, como se puede ver el ajuste en la Tabla 15 y la Figura 9.

Tabla 15. Distribución Gumbel teórico

Descripción - Distribución Gumbel	Período de retorno (años)		
	TR= 50	TR= 100	TR= 200
Precipitación Maxima 24 Horas P(mm)	52.865	57.330	61.781
Area de la Cuenca, (Hectareas)	371724.00	371724.00	371724.00
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82.930	82.930	82.930
Factor de Escorrentia (°C)	0.470	0.470	0.470
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - SCS	353.419	431.451	512.886
Caudal Maximo Calculado m ³ /s	270.305	293.135	315.893

Para dicho análisis se tiene un K tabular de 0.1190, con un K teórico de 0.0733, para la distribución Gumbel.

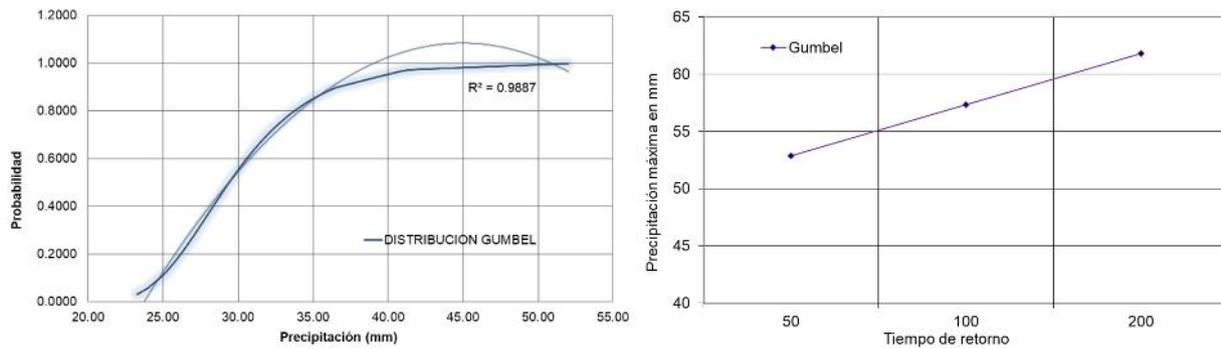


Figura 9. Distribución Gumbel

4.1.2 Cálculo de los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros necesarios para el presente método son el promedio (\bar{X}) = 30.21 y la desviación estándar (σ) = 4.92, en donde X_i = variable de la muestra. Para el análisis se realizó con la distribución Gumbel, como se puede ver el ajuste en la Tabla 16 y la Figura 10.

Tabla 16. Distribución Normal teórica

Descripción - Distribución Normal	Período de retorno (años)		
	TR= 50	TR= 100	TR= 200
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm)	40.320	41.660	42.880
Área de la Cuenca, (Hectáreas)	371724.00	371724.00	371724.00
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82.930	82.930	82.930
Factor de Escorrentía (C)	0.470	0.470	0.470
Caudal Máximo Calculado m ³ /s - SCS	353.419	431.451	512.886
Caudal Máximo Calculado m ³ /s	206.161	213.012	219.250

Para dicho análisis se tiene un coeficiente de variación de 0.1190, con un coeficiente de variación teórico de 0.1190, para la distribución Normal. En donde se ajustan los parámetros y los valores a la distribución normal.

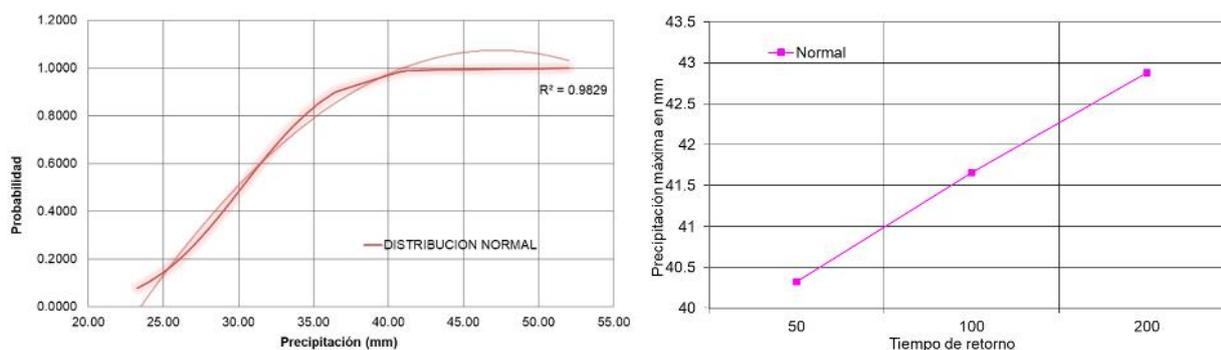


Figura 10. Distribución Normal

4.1.3 Estimación de los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)

a) Definición de los parámetros

La estimación de parámetros para el presente método fueron el promedio (X_i) = 30.21, la desviación estándar (X_i) = 4.92, el coeficiente de asimetría. (C_s) = 1.68 y los coeficientes de parámetro de forma (g) = 1.41, parámetro de escala (b) = 4.14 y parámetro de posición (X_o) = 24.37, en donde X_i = variable de la muestra. Para el análisis se realizó con la distribución Gumbel, como se puede ver el ajuste en la Tabla 17 y la Figura 11.

Tabla 17. Distribución Gamma teórico

Descripción - Distribución Gamma	Período de retorno (años)		
	TR= 50	TR= 100	TR= 200
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm)	43.990	47.180	50.330
Área de la Cuenca, (Hectáreas)	371724.00	371724.00	371724.00
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82.930	82.930	82.930
Factor de Escorrentía (°C)	0.470	0.470	0.470
Caudal Máximo Calculado m ³ /s - SCS	353.419	431.451	512.886
Caudal Máximo Calculado m ³ /s	224.926	213.012	219.250

Para dicho análisis se tiene un K tabular de 0.1190, con un K teórico de 0.0917, para la distribución Gamma.

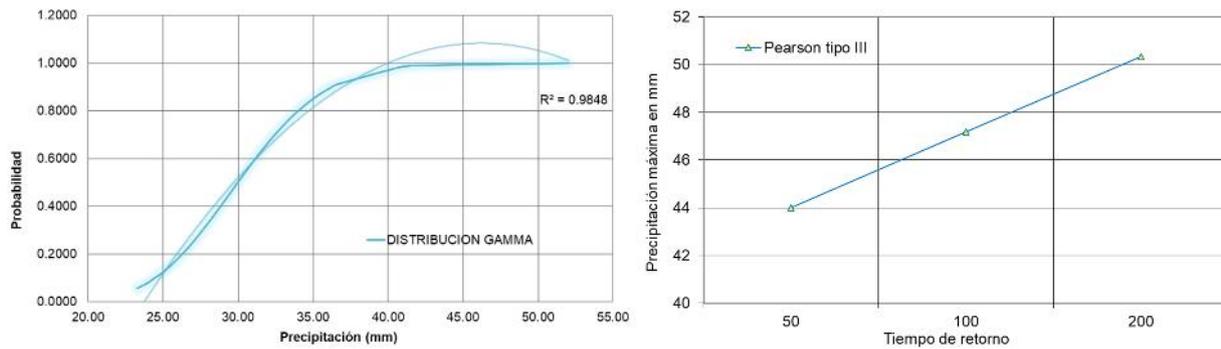


Figura 11. Distribución Gamma

4.1.4 Análisis de cálculos generales para el diseño de caudales máximos de diseño

Se tienen el análisis del cálculo del hietograma para los periodos de 50, 100 y 200 años en donde se la intensidad en milímetros por hora, la lluvia acumulada, y la precipitación del bloque para cada periodo de retorno como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Cálculo del Hietograma de diseño $T_r=50, 100$ y 200 años

t (min)	I (mm/h)	Lluvia acumulada (mm)	Incremento de lluvia (mm)	Intensidad del bloque (mm/h)	t (min)	Intensidad del bloque (mm/hr)	Precip. del bloque (mm)
30	33.24	16.62	16.62	33.24	30	2.01	1.01
60	19.77	19.77	3.15	6.30	60	2.71	1.36
90	14.58	21.87	2.10	4.20	90	4.20	2.10
120	11.74	23.48	1.62	3.24	120	33.24	16.62
150	9.94	24.84	1.36	2.71	150	6.30	3.15
180	8.67	26.02	1.18	2.36	180	3.24	1.62
210	7.72	27.03	1.01	2.01	210	2.36	1.18
240	6.99	27.94	0.92	1.84	240	1.84	0.92

t (min)	I (mm/h)	Lluvia acumulada (mm)	Incremento de lluvia (mm)	Intensidad del bloque (mm/h)	t (min)	Intensidad del bloque (mm/hr)	Precip. del bloque (mm)
30	35.38	17.69	17.69	35.38	30	2.14	1.07
60	21.04	21.04	3.35	6.70	60	2.89	1.44
90	15.52	23.28	2.23	4.47	90	4.47	2.23
120	12.50	25.00	1.72	3.45	120	35.38	17.69
150	10.58	26.44	1.44	2.89	150	6.70	3.35
180	9.23	27.70	1.26	2.51	180	3.45	1.72
210	8.22	28.77	1.07	2.14	210	2.51	1.26
240	7.44	29.75	0.98	1.96	240	1.96	0.98

t (min)	I (mm/h)	Lluvia acumulada (mm)	Incremento de lluvia (mm)	Intensidad del bloque (mm/h)	t (min)	Intensidad del bloque (mm/hr)	Precip. del bloque (mm)
30	36.76	18.38	18.38	36.76	30	2.22	1.11
60	21.86	21.86	3.48	6.96	60	3.00	1.50
90	16.12	24.18	2.32	4.64	90	4.64	2.32
120	12.99	25.97	1.79	3.58	120	36.76	18.38
150	10.99	27.47	1.50	3.00	150	6.96	3.48
180	9.59	28.78	1.31	2.61	180	3.58	1.79
210	8.54	29.89	1.11	2.22	210	2.61	1.31
240	7.73	30.90	1.02	2.03	240	2.03	1.02

En la siguiente figura se puede observar los hietogramas para los siguientes tiempos de retorno 50, 100 y 200 años.

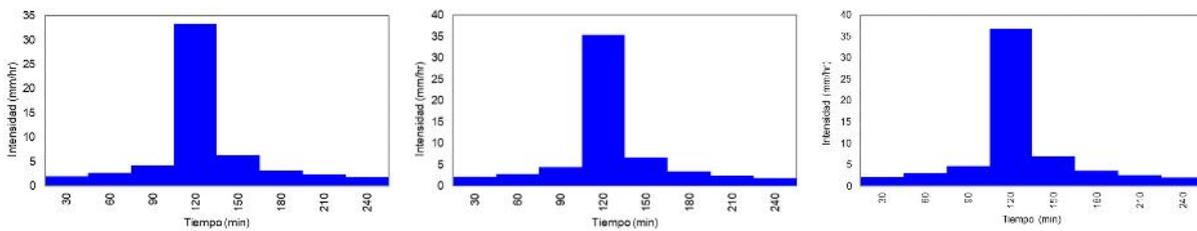


Figura 12. Hietograma $T_r=50, 100$ y 200 años

El hietograma nos indica la distribución temporal de la intensidad o de la profundidad de una precipitación a lo largo de la duración del episodio tormentoso, que tuvieron una duración en promedio de 4 horas, ya analizadas.

En la Figura 12, se tienen la precipitación ya corregida para los diferentes tiempos de retorno, las cuales fueron analizadas para obtener el caudal máximo de diseño.

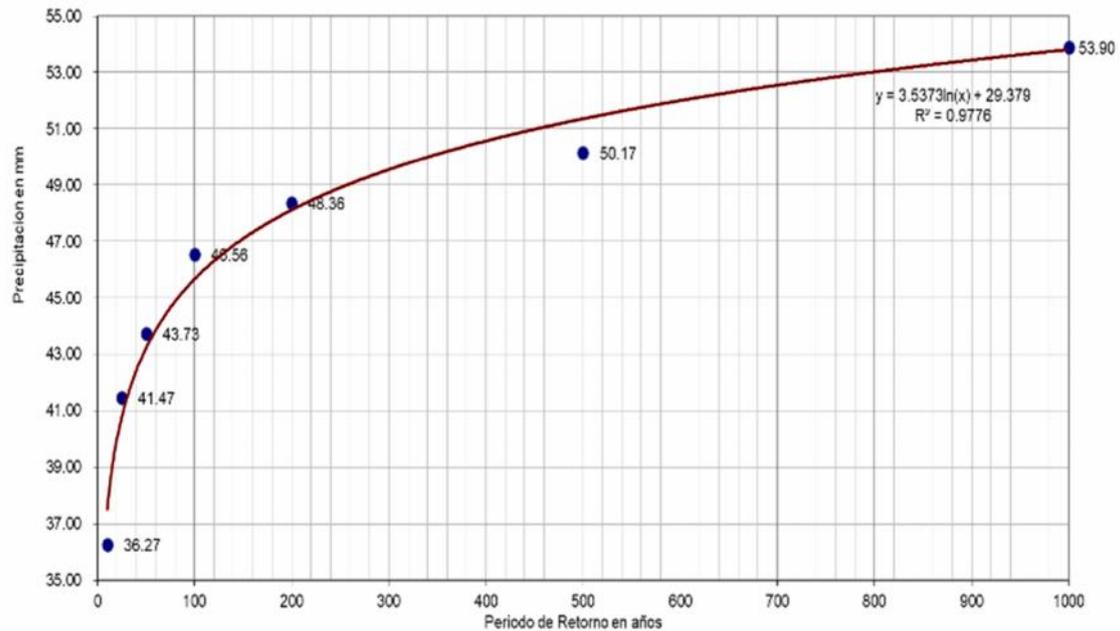


Figura 13. Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno

Para el cálculo de la descarga máxima medio diario se utilizó la ecuación de Mac-Math, se tomaron en consideración los siguientes datos: caudal máximo, m^3/s , factor de escorrentía de Mac Math, que representa las características de la cuenca, precipitación máxima 24 horas para diferentes períodos de retorno, en mm; área de la cuenca, en hectáreas y la pendiente del cauce principal, m/km. El cálculo del coeficiente de escorrentía se realizó según la Tabla 19.

Tabla 19. Coeficiente de escorrentía

vegetacion		suelo		topografia	
Cobertura(%)	C ¹	Textura	C ²	Pendiente(%)	Ca
100	0.080	Arenoso	0.080	0.0 - 0.2	0.040
80 - 100	0.120	Ligero	0.120	0.2 - 0.5	0.060
50 - 80	0.160	Media	0.160	0.5 - 2.0	0.060
20 - 50	0.220	Fina	0.220	2.0 - 5.0	0.100
0 - 20	0.300	Rocosa	0.300	5.0 - 10.0	0.150
Coeficiente de escorrentía	0.160		0.160		0.150
Total			0.470		

Se tienen los caudales encontrados para los diferentes tiempos de retorno se encuentran en la Tabla 20.

Tabla 20. Caudal máximo de la subcuenca para diferentes periodos de retorno

Descripción	TR= 50	TR= 100	TR= 200
Precipitacion Maxima 24 Horas P(mm) - Gumbel	52.865	57.330	61.781
Precipitacion Maxima 24 Horas P(mm) - Normal	40.320	41.660	42.880
Precipitacion Maxima 24 Horas P(mm) - Gamma	43.990	47.180	50.330
Precipitacion Maxima 24 Horas P(mm) - Corregida	67.846	73.696	79.546
Area de la Cuenca, (Hectareas)	371724.000	371724.000	371724.000
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82.930	82.930	82.930
Factor de Escorrentia (°C)	0.470	0.470	0.470
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - Gumbel	270.305	293.135	315.893
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - Normal	206.161	213.012	219.250
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - Gamma	224.926	241.237	257.343
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - Corregida	346.904	376.816	406.727
Caudal Maximo Calculado m ³ /s - SCS	353.419	431.451	512.886

También se calculó el caudal por los diferentes métodos para el diseño de caudal máximo según el periodo de retorno.

5 DISCUSIÓN

Los caudales máximos de diseño analizados mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, no difieren mucho comparando en Mamani (2014), en nuestro caso solo se evaluó por tres métodos como son por las distribuciones Gumbel, Normal (Gausiana) y Gamma (Pearson Tipo III) y los resultados que se comparan según los objetivos desarrollados son:

Las distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas por el método Gumbel es que se ajusta para nuestro estudio con un coeficiente de correlación de 0.0733 y para Mamani (2014), fue por el método de Prueba Smirnov – Kolmogorov adoptando como valor crítico de 0.207, los cuales fueron menores y se ajustan según los métodos evaluados.

Además, se tiene el ajuste de distribuciones de probabilidad como la bondad de ajuste de los modelos probabilísticos, de doble masa, en el cual de todas las estaciones evaluadas dieron de 0.99 cerca de 1, en ajuste del R^2 .

Respecto a la prueba t y la prueba de estacionariedad de Spermán, se realizó subdividiendo los años históricos del periodo de 1963 a 1993 y el segundo del 1994 a 2023, en donde se puede decir que los valores de t en la prueba de estacionariedad de Spermán estuvieron dentro del rango de $t_{2.5\%} = - 1.96$ y $t_{97.5\%} = + 1.96$, se concluye que la serie histórica es estacionaria. Sin embargo, los demás autores no realizan la prueba de estacionariedad.

De las estaciones seleccionadas (Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa) que involucran la zona de estudio, coinciden con el porcentaje de involucramiento para realizar la participación de las estaciones según la Tabla 12, y desarrollados por Mamani (2014).

Respecto a la precipitación de 24 horas de las estaciones estudiadas existe una diferencia con Mamani (2014), en nuestro caso se consideró para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, los cuales fueron de 43.731, 46.556 y 48.364 mm respectivamente, donde se ha considerado los años de 1963 hasta el 2023 que son 61 años y Mamani (2014), considera del 1961 hasta el 2011, que son de 50 años.

5.1.1 Discusión 1

La precipitación máxima de 24 horas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de distribución Gumbel, fueron de 52.865, 57.330 y 61.781 mm respectivamente; los caudales calculados, por el método de Mac-Math fueron de 270.305, 293.135 y 315.893 m³/s.

La estimación de parámetros considerados fueron la media, la desviación estándar los factores m y a que todos los autores descritos en los antecedentes Aguilera (2007); Laura (2014); (Mamani 2014); Chúa (2017) realizan esos cálculos, en todos sus análisis se ajusta el método de distribución Gumbel, como aceptable según sus parámetros evaluados. Se realizó en análisis de varianza a la precipitación y a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

Respecto al análisis realizado, se realiza en los tiempos de retorno ya conocidos, mas no así el cálculo de caudales, que difiere de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca, los métodos empleados como la probabilidad estadística emplea la mayoría, así como los datos de la precipitación máxima de 24 horas para la determinación de caudales.

5.1.2 Discusión 2

La precipitación máxima de 24 horas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de distribución Normal, fueron de por el método de distribución Normal los cuales fueron de 40.32, 41.66 y 42.88 mm respectivamente; los caudales calculados, por el método de Mac-Math fueron de 206.161, 213.012 y 219.250 m³/s.

La estimación de parámetros considerados fueron la media, la desviación estándar los factores m y a que todos los autores descritos en los antecedentes Aguilera (2007); Laura (2014); (Mamani 2014a); Chúa (2017) realizan esos cálculos, en todos sus análisis se ajusta el método de distribución Gumbel, como aceptable según sus parámetros evaluados. Se realizó en análisis de varianza a la precipitación y a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay

diferencia estadística.

Respecto al análisis realizado, se realiza en los tiempos de retorno ya conocidos, mas no así el cálculo de caudales, que difiere de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca, los métodos empleados como la probabilidad estadística emplea la mayoría, así como los datos de la precipitación máxima de 24 horas para la determinación de caudales.

5.1.3 Discusión 3

La precipitación máxima de 24 horas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de distribución Gamma (Pearson Tipo III), fueron de 40.320, 41.660 y 42.880 mm respectivamente; los caudales calculados, por el método de Mac-Math fueron de 224.926, 213.012 y 219.250 m³/s.

La estimación de parámetros considerados fueron la media, la desviación estándar los factores m y a que todos los autores descritos en los antecedentes Aguilera (2007); Laura (2014); (Mamani 2014a); Chúa (2017) realizan esos cálculos, en todos sus análisis se ajusta el método de distribución Gumbel, como aceptable según sus parámetros evaluados. Se realizó en análisis de varianza a la precipitación y a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

Respecto al análisis realizado, se realiza en los tiempos de retorno ya conocidos, mas no así el cálculo de caudales, que difiere de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca, los métodos empleados como la probabilidad estadística emplea la mayoría, así como los datos de la precipitación máxima de 24 horas para la determinación de caudales.

5.1.4 Discusión 4

En el análisis del cálculo del hietograma para los periodos de 50, 100 y 200 años, que son cálculos previos para la obtención caudal para los tiempos de retorno determinado, varia de acuerdo a una relación directa, en donde se determinó la intensidad en milímetros por hora, la lluvia acumulada, y la precipitación del bloque para cada periodo de retorno. En el análisis para el cálculo de la precipitación de

24 horas corregida es por los tiempos de retorno son de 67.846, 73.696 y 79.546 mm, el que se ajusta más es la distribución Gamma (Pearson Tipo III) corregida. El cálculo de la descarga máximo por el método de Mac-Math fueron de 346.904, 376.816 y 406.727 m³/s; seguidamente se hizo el cálculo de Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el hidrograma unitario los cuales fueron 353.419, 431.451 y 512.886 m³/s, respectivamente.

Para Mamani (2014), considero los tiempos de retorno de 5, 50, y 100 años, y obtuvo 126.40, 424.20 y 495.80 m³/s respectivamente, y realizó el modelamiento del sistema hidrológico de la cuenca del río Ayaviri, a través del modelo HEC-HMS.; los caudales calculados, por el método de Mac-Math y por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el hidrograma unitario se puede decir que se acepta la hipótesis nula en donde los caudales son homogéneos y no existe diferencia estadística tanto en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593). Los autores descritos en los antecedentes Aguilera (2007); Laura (2014); (Mamani 2014a); Chúa (2017) realizan esos cálculos, en todos sus análisis se ajusta de acuerdo a su necesidad, como aceptable según el método empleado.

Respecto al análisis realizado, estadísticamente se puede decir que no existe diferencia estadística respecto a los tiempos de retorno y los métodos empleados, si existe la diferencia en relación a las características geomorfológicas de la cuenca para cada estudio. Pero si hay una similitud en los métodos empleados.

6 CONCLUSIONES

Se tiene el análisis de caudales máximos de diseño analizados mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, por tres métodos como son por las distribuciones Gumbel, Normal y Gamma (Pearson Tipo III). El ajuste de distribuciones de probabilidad como la bondad de ajuste de los modelos probabilísticos, de doble masa, en el cual de todas las estaciones evaluadas dieron de 0.99 cerca de 1, en ajuste del R^2 . La prueba t y la prueba de estacionariedad de Sperman, se realizó subdividiendo los años históricos del periodo de 1963 a 1993 y el segundo del 1994 a 2023, en donde se puede decir que los valores de t en la prueba de estacionariedad de Sperman estuvieron dentro del rango de $t_{2.5\%} = -1.96$ y $t_{97.5\%} = +1.96$, se concluye que la serie histórica es estacionaria. Sin embargo, los demás autores no realizan la prueba de estacionariedad, de las estaciones seleccionadas Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa.

La precipitación de 24 horas de las estaciones estudiadas se seleccionó los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, los cuales fueron de 43.731, 46.556 y 48.364 mm respectivamente, donde se ha considerado los años de 1963 hasta el 2023 que fueron de 61 años.

Conclusión 1

El caudal máximo para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de Mac-Math fueron de 270.305, 293.135 y 315.893 m^3/s respectivamente; dichos caudales fueron calculados con las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Gumbel. Se realizó en análisis de varianza a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

Conclusión 2

El caudal máximo para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de Mac-Math fueron de 206.161, 213.012 y 219.250 m^3/s respectivamente; dichos caudales fueron calculados con las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Normal. Se realizó en análisis

de varianza a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

Conclusión 3

El caudal máximo para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de Mac-Math fueron de 206.161, 213.012 y 219.250 m³/s respectivamente; dichos caudales fueron calculados con las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de Gamma. Se realizó en análisis de varianza a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

Conclusión 4

El caudal máximo para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de Mac-Math fueron de 346.904, 376.816 y 406.727 m³/s; seguidamente se hizo el cálculo de Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el hidrograma unitario los cuales fueron 353.419, 431.451 y 512.886 m³/s; dichos caudales fueron calculados con las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Gamma (Pearson Tipo III); esos cálculos, en todos sus análisis se ajusta el método de distribución Gamma (Pearson Tipo III), como aceptable según sus parámetros evaluados. Se realizó en análisis de varianza a los caudales obtenidos en los tiempos de retorno (p-valor: 0.0646) y el método empleado (p-valor: 0.0593); por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia estadística.

7 RECOMENDACIONES

Recomendación 1

El caudal máximo se recomienda para el diseño de obras hidráulicas, para los diferentes tiempos de retorno, los caudales calculados, a partir de las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Gumbel; esos cálculos, debe de cumplir con las diferentes pruebas de ajuste afín de utilizar adecuadamente; además de eso se puede emplear diferentes métodos para el cálculo del caudal de diseño.

Recomendación 2

El caudal máximo se recomienda para el diseño de obras hidráulicas, para los diferentes tiempos de retorno, los caudales calculados, a partir de las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Normal; esos cálculos, debe de cumplir con las diferentes pruebas de ajuste afín de utilizar adecuadamente; además de eso se puede emplear diferentes métodos para el cálculo del caudal de diseño.

Recomendación 3

El caudal máximo se recomienda para el diseño de obras hidráulicas, para los diferentes tiempos de retorno, los caudales calculados, a partir de las precipitaciones de 24 horas por el método de distribución probabilística de distribución Gamma (Pearson Tipo III); esos cálculos, debe de cumplir con las diferentes pruebas de ajuste afín de utilizar adecuadamente; además de eso se puede emplear diferentes métodos para el cálculo del caudal de diseño.

Recomendación 4

El caudal máximo se recomienda para el diseño de obras hidráulicas, para los diferentes tiempos de retorno, los caudales calculados, a partir de las precipitaciones de 24 horas por todos los métodos de distribución probabilística, para las precipitaciones o para el diseño de caudales; esos cálculos, debe de cumplir con las diferentes pruebas de ajuste afín de utilizar adecuadamente; además de eso se puede emplear diferentes métodos para el cálculo del caudal de diseño.

Dada la importancia de la cuenca del río Ramis y las subcuencas que la

conforman, sería bueno que se instales una red de estaciones meteorológicas de monitoreo y vigilancia de manera sistemática a fin de recabar y tener una representación de las variables necesaria para los estudios posteriores.

Se recomienda que a las entidades técnicas científicas disponibilicen los datos para poder realizar las investigaciones y poder realizar las comparaciones con los nuevos estudios.

Realizar estudios relacionados a la gestión de riesgos en vista que la zona baja de la subcuenca de Ayaviri sufre desbordes de río e inundaciones, a fin de no tener más afectados en ambas márgenes del río.

REFERENCIAS

- Aguilera, MA. 2007. Estimación de Funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule. Pregrado. Talca, CL, Universidad de Talca. 90 p.
- Álvarez, AJ; Orduña, LM; Montañés, CG. 2014. Análisis y selección de modelos estadísticos para el ajuste de la ley de frecuencia de caudales máximos anuales en España. Revista Digital del Cedex (174): 5 - 31 p.
- Aparicio, FJ. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. México DF, MX, Editorial Limusa. 302 p.
- Arias, FG. 2012. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Episteme. Caracas, VE, Episteme. 143 p.
- Baena, GME. 2017. Metodología de la investigación (3a. ed.). Ciudad de México, MX, Grupo Editorial Patria. 141 p.
- Baghdadi, N; Zribi, M. 2016. Land surface remote sensing in continental hydrology. London, UK, Elsevier. 456 p.
- Beven, K. 2012. Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, Second Edition. 2 ed. New York, US, Wiley. 488 p. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119951001.ch3>
- Breña, AF; Jacobo, MA. 2006. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Mexico, MX, Universidad Autónoma Metropolitana. 287 p.
- Briceño, K; Bello, E. 2019. Investigación de la regionalización de caudales máximos en las cuencas de la provincia Gualivá por medio del método estadístico índice de creciente. Pregrado. Bogotá DC, CO, Universidad Católica de Colombia. 141 p.
- Chavarría, L; Guzmán, I; Quesada, F; Watson, F. 2020. Determinación del caudal ambiental requerido para río Pejibaye mediante la implementación de una metodología de cálculo hidrobiológica, considerando variables de cambio climático. Investigación. Pejibaye, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 98
- Chávez, AdS. 2009. Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente Carrasquillo. Maestría. Piura, PE, Universidad de Piura. 179 p.
- Chen, Cl. 1983. Rainfall intensity duration frequency formulas. Journal of Hydraulic Engineering 109(12):1603 - 1621.
- Chen, L; Wang, L. 2018. Recent advance in earth observation big data for hydrology. Big Earth Data 2(1):86 - 107. Disponible en <https://doi.org/10.1080/20964471.2018.1435072>

- Chow, VT. 1964. Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology. New York, US, McGraw-Hill. 1495 p. p. (1)
- Chow, VT; Maidment, DR; Larry, WM. 1994. Hidrología aplicada. S.A., MI. Bogotá, CO, Editorial McGrawHill Interamericana S.A. 584 p.
- Chúa, R. 2017. Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía. Pregrado. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 232 p.
- Domínguez, MC; Medina, MdC; Martínez, MI. 2018. Metodología de investigación para la educación y la diversidad. Salamanca, ES, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). 231 p.
- Fattorelli, S; Fernández, PC. 2011. Diseño Hidrológico. Paris, FR, World Water Assessment Programme (WWAP). 531 p. (2)
- Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Síntesis. Madrid, ES. v. 1, 288 p.
- Fresno, C. 2019. Metodología de la investigación: así de fácil. Córdoba, AR, El Cid Editor. 153 p.
- Gutiérrez, C. 2017. Determinación de las áreas vulnerables frente a riesgos de inundación y huaycos en la zona aledaña al río Pachatusan y sus propuestas de mitigación. Pregrado. Cusco, PE, Universidad Andina del Cusco. 312 p.
- Haan, CT; Barfield, BJ; Hayes, JC. 1994a. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Elsevier. p.
- _____. 1994b. Design hydrology and sedimentology for small catchments. San Diego, US, Elsevier. 588 p.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, PJ. 2014. Desarrollo de la perspectiva teórica: revisión de la literatura y construcción del marco teórico. Metodología de la Investigación. México DF, MX, McGraw-Hill. 58 - 87 p.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, MdP. 2018. Metodología de la investigación. México DF, MX, McGraw-Hill Interamericana. 613 p. (4)
- Jain, SK; Singh, VP. 2019. Engineering Hydrology: An Introduction to Processes, Analysis, and Modeling. New York, US, McGraw - Hill Education. 624 p. Disponible en <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259641978>
- Khan, MA. 2015. Flood Scour for Bridges and Highways: Prevention and Control of Soil Erosion. New York, US, McGraw - Hill Education. 384 p. Disponible en <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071825078>
- Laura, MG. 2014. Modelo regional aplicado a las maximas avenidas en las cuencas de los rios: llave, Callacame y Zapatilla. Pregrado. Puno, PE, Universidad

- Nacional del Altiplano (UNA). 113 p.
- Llamas, JM. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Euskal Herriko Unibertsitatea. Argitarapen Zerbitzua. Bilbao, ES, Universidad del País Vasco. 636 p.
- Lujano, E. 2019. Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú. Posgrado. Puno, PE, Universidad Nacional del Altiplano. 55 p.
- Mackenzie, LD. 2019. Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice, Second Edition. New York, US, McGraw - Hill Education. 1344 p. Disponible en <https://books.google.com.br/books?id=XypnwwEACAAJ>
- Mamani, H. 2014. Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri – Puno. Pregrado. Puno, PE, Universidad Nacional del Altiplano (UNA). 258 p.
- Mejía, JAM. 2012. Hidrología aplicada. UNALM. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 222 p. (1)
- Melesse, AM; Abtew, W; Senay, G. 2019. Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation. Amsterdam, NL, Elsevier. 580 p.
- Mias, CD. 2018. Metodología de investigación, estadística aplicada e instrumentos neuropsicología: guía práctica para investigación. Córdoba, AR, Editorial Brujas. 259 p.
- MTC. 2012. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima, PE, Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). 211 p.
- Oседа, D; Huamán, E; Ramos, E; Shimbucat, F; Zevallos, K; Barrera, M. 2015a. Teoría y Práctica de la Investigación Científica. Huancayo, PE,, Soluciones Gráficas SAC. 80 p. (1)
- Oседа, D; Huamán, E; Ramos, E; Shimbucat, F; Zevallos, K; Barrera, M. 2015b. Teoría y Práctica de la Investigación Científica. Huancayo, PE, Soluciones Gráficas SAC. v. 1, 80 p. (1)
- Renaud, FG; Sudmeier, K; Estrella, M; Nehren, U. 2016. Ecosystem-based disaster risk reduction and adaptation in practice. Cham, DE, Springer. 598 p. (42)
- Righetto, AM. 1998. Hidrologia e recursos hídricos. São Carlos, BR, Universidade de São Paulo (USP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). 819 p. p.
- Rousseau, R; Egghe, L; Guns, R. 2018. Chapter 2 - Scientific Research and Communication. *In* Rousseau, R; Egghe, L; Guns, R. eds. Becoming Metric-Wise. Chandos Publishing. 11-35.

- Ruiz, R. 2007. El método científico y sus etapas. Mexico DF, MX, Biblioteca Lascasas. v. 3, 79 p. (3)
- Scheffran, J. 2020. Chapter 16 - Climate extremes and conflict dynamics. *In* Sillmann, J; Sippel, S; Russo, S. eds. Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment. Elsevier. 293 - 315. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148952000161>
- Schleussner, C-F; Guillod, B. 2020. Chapter 17 - Avoiding impacts and impacts avoided: Impact science to inform adaptation action and policy-relevant assessments. *In* Sillmann, J; Sippel, S; Russo, S. eds. Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment. Elsevier. 317 - 339. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148952000173>
- Schuite, J; Flipo, N; Massei, N; Rivière, A; Baratelli, F. 2019. Improving the spectral analysis of hydrological signals to efficiently constrain watershed properties. *Water Resources Research*: 53.
- Singh, VP. 2017. Handbook of Applied Hydrology, Second Edition. 2nd edition. ed. New York, US, McGraw - Hill Education. 1440 p. Disponible en <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071835091>
- Singh, VP. 2018. Entropy theory in hydrologic science and engineering. Texas, US, McGraw - Hill Professional. 500 p.
- Srinivasan, R; Ramanarayanan, TS; Arnold, JG; Bednarz, ST. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application. *American Water Resources Association* 34(1):91 - 101. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05962.x>
- Tejada, HE. 2014. Estudio hidrológico de máximas avenidas de la subcuenca Juana Ríos - Cuenca Chancay - Lambayeque. Pregrado. Lambayeque, PE, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. 142 p.
- Tucci, CE. 2003. Inundações e drenagem urbana. Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, BR, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 45 - 141 p.
- Uehara, K; Zahed, K; Silveira, LNLd; Eiger, S. 1980. Pequenas bacias hidrograficas do Estado de Sao Paulo; estudo de vazoes médias e máximas. Pequenas bacias hidrograficas do Estado de Sao Paulo; estudo de vazoes médias e máximas. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). 708.
- Uitto, JI; Shaw, R. 2016. Sustainable development and disaster risk reduction. Tokyo, JP, Springer. 287 p.
- Valderrama, SR. 2013. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta. Lima, PE, San Marcos. 495 p.

- Varouchakis, EA. 2019a. 1 - Geostatistics: Mathematical and Statistical Basis. *In* Corzo, G; Varouchakis, EA. eds. Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events. Chania, GR, Elsevier. 1 - 38. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012811689000001X>
- _____. 2019b. 2 - Background of Spatiotemporal Geostatistical Analysis: Application to Aquifer Level Mapping. *In* Corzo, G; Varouchakis, EA. eds. Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events. Elsevier. 39-57. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128116890000021>
- Vergara, LE. 2020. Simulación y pronóstico de caudales diarios del Río Amazonas usando un enfoque híbrido Wavelet y Redes Neuronales. Maestría en Recursos Hídricos. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 165 p.
- Villón, M. 2004. Hidrología. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 474 p.
- Williams, JR; Singh, V. 1995. Computer models of watershed hydrology. Chap. The EPIC Model, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO: 909 - 1000 p.
- Wood, P; Smith, J. 2017. Investigar en educación: conceptos básicos y metodología para desarrollar proyectos de investigación. Madrid, ES, Narcea Ediciones. 132 p.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Título: Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020

Nombre: José Antonio Mamani Gómez

Variables dependientes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
Y ₁ Métodos convencionales	Según Singh (2017), los métodos convencionales son usados para estimar las precipitaciones, así como los caudales, también denominado volumen de agua, también llamado cantidad de agua, que se mide en una unidad de tiempo.	Los métodos convencionales, se operacionaliza mediante sus dimensiones: Distribución Gumbel; Log Normal y Gamma (Pearson Tipo III), que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez cada una de las dimensiones, se subdividen en indicadores, como parámetros de forma, parámetros de posición y parámetros de escala	D₁: Distribución Gumbel D₂: Normal D₃: Gamma (Pearson Tipo III)	I1: Parámetros de forma I2: Parámetros de posición I3: Parámetros de escala	Registro histórico	Nominal

Variables independientes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
X ₁ Caudales máximos de diseño	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el estudio de la cuenca está delimitado por el curso principal, y los puntos más altos denominado la divisoria de agua. Las características geomorfológicas se analiza el área, longitud de la cuenca y su perímetro, pendiente, entre otros parámetros.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de características geomorfológicas, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en indicadores, como área, pendiente y densidad de drenaje.	D₁: Características geomorfológicas	I1: Área I2: Pendiente I3: Densidad de drenaje	Ficha de recopilación de información	Razón Nominal
	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el total de lluvia en 24 horas que se registra en un evento, es registrado por las estaciones meteorológicas, se calculan las máximas mensuales y de la serie histórica de máximas mensuales.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de precipitación de 24h, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en los indicadores, como alto, medio y bajo.				D₂: Precipitación de 24h
	Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el período de retorno (T) es un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado, también es la cantidad de tiempo para la cual la probabilidad de ocurrencia se distribuye uniformemente en los periodos que componen dicha cantidad de tiempo. También llamado período de recurrencia, es considerado un concepto estadístico.	Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de tiempo de retorno, que vienen hacer los métodos de cálculos; a su vez se subdividen en indicadores, como Tiempo de retorno de 50, 100 y 200 años.	D₃: Periodo de retorno	I1: Tiempo de retorno de 50 I2: Tiempo de retorno 100 I3: Tiempo de retorno 200		Razón Intervalo

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título: Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020
 Nombre: José Antonio Mamani Gómez

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020?</p>	<p>Determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020</p>	<p>Los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos son iguales en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020</p>	<p>Independientes V₁: Métodos convencionales</p>	<p>D₁: Distribución Gumbel D₂: Distribución normal D₃: Gamma (Pearson Tipo III)</p>	<p>I1: Parámetros de forma I2: Parámetros de posición I3: Parámetros de escala</p>	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: No experimental Población: Caudales máximos para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años Muestra: Estaciones Pluviométricas Técnica: Observación directa Instrumento: Ficha de recopilación de información</p>
Problema	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable	Dimensiones	Indicadores	
<p>Problema específico</p> <p>¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020?</p>	<p>Estimar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel</p>	<p>Los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel, son similares a los demás métodos</p>	<p>Dependientes V₂: Caudales máximos de diseño</p>	<p>D₁: Características geomorfológicas</p>	<p>I1: Área I2: Pendiente I3: Densidad de drenaje</p>	
<p>¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante la distribución normal en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020?</p>	<p>Calcular los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal</p>	<p>Los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal, son iguales a los demás métodos</p>		<p>D₂: Precipitación de 24h</p>	<p>I1: Alta < 600 mm/año I2: Media 601 - 799 mm/año I3: Baja > 800 mm/año</p>	
<p>¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III) en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020?</p>	<p>Estimar los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)</p>	<p>Los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III), son iguales a los demás métodos</p>		<p>D₃: Tiempo de retorno</p>	<p>I1: Tiempo de retorno 50 I2: Tiempo de retorno 100 I3: Tiempo de retorno 200III</p>	

Anexo 3. Precipitaciones de 24 horas

Departamento: PUNO Provincia: MELGAR Estacion: AYAVIRI
 Latitud: 14° 52' 7.56" Longitud: 70° 35' 29.8" Distrito: AYAVIRI Altitud: 3941 msnm Código: 115027 Tipo: Convencional - meteorológica

PRECIPITACION MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	P24h max
1963	14.55	28.20	26.69	19.12	21.19	1.41	0.00	0.00	12.34	20.37	20.09	19.72	183.68	28.20
1964	15.00	12.00	20.76	17.59	0.69	0.00	0.00	0.24	4.00	9.50	12.50	7.50	99.78	20.76
1965	15.00	18.50	26.50	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.50	15.00	35.50	120.00	35.50
1966	11.00	25.50	14.00	8.00	9.00	0.00	0.00	0.00	3.00	9.50	15.00	16.00	111.00	25.50
1967	17.50	16.00	29.00	18.00	4.00	0.00	9.50	8.00	5.00	25.00	18.00	23.00	173.00	29.00
1968	17.50	14.00	18.00	3.50	0.80	0.00	9.50	3.00	8.00	5.20	14.00	10.00	103.50	18.00
1969	13.00	25.20	6.00	11.00	0.00	0.00	3.00	0.50	2.50	9.00	14.00	12.50	96.70	25.20
1970	15.00	16.00	16.00	13.00	17.00	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	12.00	14.00	115.00	17.00
1971	9.00	18.00	31.00	29.20	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	6.00	11.00	15.00	120.70	31.00
1972	18.50	21.00	9.30	12.80	1.20	0.00	2.20	5.80	4.80	7.50	8.00	25.00	116.10	25.00
1973	15.20	8.80	15.20	10.00	4.50	0.00	5.00	1.00	10.80	20.50	10.20	10.00	111.20	20.50
1974	12.50	15.40	9.00	5.50	5.50	7.00	0.00	12.00	3.40	5.40	16.40	15.50	107.60	16.40
1975	15.60	20.40	11.50	10.00	2.50	0.00	0.00	0.00	3.50	20.50	15.00	15.80	114.80	20.50
1976	9.80	19.70	10.20	11.00	1.40	0.00	0.00	0.00	7.50	1.50	0.00	11.00	72.10	19.70
1977	6.50	10.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	10.00	15.00	49.00	15.00
1978	29.00	12.00	7.00	0.00	0.22	0.01	0.01	0.08	10.50	10.30	22.00	18.20	109.32	29.00
1979	18.70	10.90	17.50	10.00	0.38	0.00	0.01	0.13	6.77	16.57	8.16	32.22	121.34	32.22
1980	14.42	8.05	10.10	22.08	3.42	0.01	0.63	0.94	1.51	21.55	29.34	17.85	129.90	29.34
1981	17.10	10.80	12.13	22.82	17.19	0.32	0.27	4.50	3.68	14.30	5.25	14.29	122.65	22.82
1982	15.20	8.00	32.00	30.00	0.00	0.00	1.00	20.00	5.00	38.70	36.00	20.00	205.90	38.70
1983	7.20	14.10	17.50	23.00	0.40	2.00	0.00	0.00	6.50	7.70	14.50	23.00	115.90	23.00
1984	27.10	16.80	14.00	13.50	10.50	2.20	0.00	10.00	0.00	87.30	120.30	50.30	352.00	120.30
1985	12.25	18.20	93.50	29.00	4.20	19.60	0.00	0.00	8.60	9.48	22.97	10.16	227.96	93.50
1986	16.82	26.20	15.20	15.00	15.00	0.00	0.00	2.30	9.30	2.60	21.00	21.30	144.72	26.20
1987	17.80	14.90	9.50	9.10	4.00	4.30	8.90	2.10	1.50	14.40	18.00	33.40	137.90	33.40
1988	19.50	23.10	18.20	21.10	6.40	0.00	0.00	0.00	10.00	17.00	1.10	16.80	133.20	23.10
1989	17.00	15.80	10.50	20.50	3.50	1.10	0.10	16.50	17.00	10.60	8.00	15.40	136.00	20.50
1990	30.00	40.20	11.00	10.40	1.80	15.20	0.00	2.30	10.90	18.00	12.50	11.80	164.10	40.20
1991	52.20	23.60	21.30	11.60	11.00	20.20	0.60	2.90	4.50	31.80	9.20	12.80	201.70	52.20
1992	18.80	14.99	10.30	17.20	0.00	0.40	9.80	21.00	0.90	7.80	8.20	11.00	120.39	21.00
1993	33.50	11.00	18.80	3.40	7.70	10.80	0.30	10.00	10.00	22.20	92.00	16.50	236.20	92.00
1994	14.40	12.00	30.10	14.40	2.60	0.00	0.00	0.00	7.50	13.70	20.30	23.90	138.90	30.10
1995	18.50	25.00	22.30	26.00	0.50	0.00	0.00	0.00	3.50	9.00	16.20	20.00	141.00	26.00
1996	31.60	22.80	14.70	5.00	6.00	0.00	0.00	2.60	4.20	5.00	17.60	25.30	134.80	31.60
1997	13.80	18.30	17.40	3.00	1.40	0.00	0.00	12.80	2.19	5.19	29.80	38.00	141.88	38.00
1998	11.80	11.30	19.00	30.50	0.00	0.50	0.00	1.90	0.50	9.00	41.20	16.50	142.20	41.20
1999	11.50	27.10	17.10	34.70	8.20	0.00	0.00	0.00	10.50	8.30	14.20	7.60	139.20	34.70
2000	16.40	42.40	15.90	3.50	3.30	1.00	3.60	2.00	2.00	16.00	5.90	11.50	123.50	42.40
2001	20.00	19.20	12.70	18.00	9.40	2.80	0.80	4.40	3.30	7.00	9.40	13.40	120.40	20.00
2002	16.50	28.00	9.80	10.20	6.40	2.00	3.90	5.50	11.00	20.00	27.20	11.00	151.50	28.00
2003	33.30	20.00	34.00	14.20	5.80	4.80	0.00	4.40	10.40	12.70	12.80	19.60	172.00	34.00
2004	21.20	26.00	23.00	11.20	1.80	0.40	2.20	6.30	9.50	7.10	21.60	27.80	158.10	27.80
2005	19.40	18.20	33.30	6.70	0.20	0.00	0.00	4.40	2.40	12.00	19.00	7.00	122.60	33.30
2006	20.20	11.70	17.80	10.60	0.00	0.60	0.00	1.30	1.70	38.50	12.60	17.90	132.90	38.50
2007	22.00	12.50	24.40	14.60	7.30	0.00	0.00	0.60	4.20	11.10	27.70	21.50	145.90	27.70
2008	26.00	32.90	21.90	4.00	0.80	0.50	0.00	0.20	0.70	9.40	11.90	20.40	128.70	32.90
2009	18.00	15.50	39.30	17.00	2.00	0.00	0.90	0.20	8.00	21.20	10.20	27.30	159.60	39.30
2010	21.80	26.20	15.70	15.90	11.10	0.00	0.00	0.60	0.20	4.60	8.00	11.80	115.90	26.20
2011	12.70	12.50	22.80	24.50	6.70	0.20	2.20	1.10	3.30	7.50	34.40	39.70	167.60	39.70
2012	10.40	14.00	16.00	6.30	7.40	0.00	0.50	0.00	1.60	7.60	18.80	17.40	100.00	18.80
2013	12.40	12.20	8.80	15.90	1.30	2.10	0.80	4.60	9.00	23.40	11.30	13.40	115.20	23.40
2014	18.70	19.50	25.40	2.20	0.80	0.00	0.80	3.90	6.40	26.00	11.20	12.50	127.40	26.00
2015	21.20	13.50	10.80	14.20	1.60	1.20	4.70	1.10	7.40	4.70	22.10	21.80	124.30	22.10
2016	21.30	21.90	19.60	15.00	2.40	0.30	6.80	6.00	4.00	6.80	8.05	11.20	123.35	21.90
2017	8.20	12.80	19.40	5.60	13.10	0.00	9.20	0.00	5.20	24.50	17.50	23.10	138.60	24.50
2018	21.90	14.60	14.40	11.90	13.19	0.13	0.17	0.08	9.42	25.84	20.39	16.59	148.61	25.84
2019	13.50	17.15	11.11	13.96	0.12	0.00	0.00	0.27	3.52	9.52	34.95	50.95	155.05	50.95
2020	34.46	19.58	35.59	8.66	0.22	0.00	0.01	0.57	13.71	2.39	3.52	23.45	142.16	35.59
2021	13.39	30.97	22.67	12.87	2.29	0.00	0.00	0.05	2.84	14.94	19.47	17.58	137.07	30.97
2022	23.37	19.03	19.58	16.23	22.98	0.02	0.21	8.01	4.86	10.13	24.36	29.50	178.28	29.50
2023	27.24	18.22	16.75	14.89	0.23	0.00	0.00	0.00	0.41	7.72	20.69	10.66	116.81	27.24
N° datos	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00
Promedio	18.48	18.56	19.32	13.68	4.80	1.66	1.44	3.24	5.47	14.11	19.21	19.33	139.29	32.34

Fuente: SENAMHI (2020)

Departamento: PUNO Provincia: MELGAR Distrito: UMACHIRI Estacion: CHUQUIBAMBILLA
 Latitud: 14° 47' 16.46" Longitud: 70° 43' 42.57" Altitud: 3918 msnm Código: 114035 Tipo: Convencional - meteorológica

PRECIPITACION MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	P24h max
1963	20.06	18.35	19.49	16.99	6.68	3.84	0.00	3.29	17.20	13.13	21.46	36.37	176.86	36.37
1964	15.92	14.35	26.44	16.10	24.96	0.01	0.00	0.08	9.01	11.20	5.22	9.56	132.85	26.44
1965	13.77	18.65	35.72	11.66	0.08	0.01	0.00	1.43	0.82	1.36	3.55	39.01	126.06	39.01
1966	11.97	16.60	19.67	5.45	0.84	0.00	0.01	0.10	4.68	8.07	16.04	23.68	107.11	23.68
1967	37.51	14.32	28.68	8.22	0.52	0.15	30.03	48.54	17.62	18.54	21.06	27.52	252.71	48.54
1968	14.98	14.93	20.58	10.56	3.38	0.00	0.18	5.17	0.18	14.49	9.49	20.73	114.67	20.73
1969	14.68	17.06	19.01	15.54	0.28	0.11	0.54	0.51	11.49	18.46	21.59	19.67	138.94	21.59
1970	13.65	12.63	31.35	7.20	0.09	0.00	0.00	0.00	25.29	4.95	0.71	17.54	113.41	31.35
1971	10.53	13.81	16.27	9.24	1.88	0.00	0.00	1.13	0.00	13.00	22.00	20.00	107.86	22.00
1972	16.40	17.50	19.00	12.20	0.00	0.00	0.00	2.10	8.90	19.93	13.60	36.28	145.91	36.28
1973	21.50	9.70	37.10	22.00	1.80	0.00	1.50	3.20	14.80	12.00	13.40	13.20	150.20	37.10
1974	20.20	26.60	57.60	9.80	0.00	4.20	0.00	11.80	14.19	8.70	24.10	19.80	196.99	57.60
1975	29.30	20.50	12.80	7.20	9.30	0.00	0.00	0.00	11.30	14.70	8.80	17.90	131.80	29.30
1976	20.00	18.50	23.30	10.00	4.60	1.50	0.80	2.80	18.50	0.70	6.50	11.50	118.70	23.30
1977	15.90	20.20	14.10	16.70	4.00	0.00	1.80	0.00	14.90	9.60	11.20	16.20	124.60	20.20
1978	27.40	18.00	15.70	41.70	0.90	0.60	0.00	0.00	8.50	6.70	18.80	26.50	164.80	41.70
1979	29.00	10.60	16.90	9.40	1.20	0.00	0.00	3.70	2.30	7.50	6.10	21.30	108.00	29.00
1980	21.50	16.20	26.90	5.70	7.00	0.00	1.30	2.20	2.30	19.80	21.80	16.20	140.90	26.90
1981	27.00	32.50	13.60	16.00	6.40	3.10	0.00	6.80	8.50	24.60	14.00	20.80	173.30	32.50
1982	16.60	21.50	23.30	26.00	0.00	0.00	2.00	0.00	10.40	18.30	16.60	22.70	157.40	26.00
1983	10.30	10.00	15.60	10.70	1.30	0.00	0.00	0.00	3.50	8.10	3.70	14.40	77.60	15.60
1984	14.90	20.00	10.30	15.40	13.30	0.00	1.20	0.70	1.90	25.60	13.70	40.80	157.80	40.80
1985	15.20	17.30	16.50	18.10	8.00	9.80	0.00	0.50	21.10	5.40	21.00	13.00	145.90	21.10
1986	19.50	17.20	17.40	14.30	9.10	0.00	1.00	4.10	11.40	2.70	18.70	17.00	132.40	19.50
1987	8.30	19.10	15.00	12.00	0.80	1.40	3.80	0.70	2.30	2.80	29.50	34.50	130.20	34.50
1988	27.80	12.90	15.50	13.90	5.50	0.00	0.00	0.00	6.50	15.20	3.70	17.90	118.90	27.80
1989	25.70	13.10	13.20	24.30	3.30	0.60	0.70	17.50	11.80	13.10	10.00	22.60	155.90	25.70
1990	24.00	12.40	16.20	14.20	7.00	23.50	0.00	0.20	6.00	20.00	27.40	11.00	161.90	27.40
1991	42.20	18.00	26.50	15.20	13.00	12.00	0.00	0.00	1.00	17.80	8.70	12.70	167.10	42.20
1992	31.00	12.70	20.60	10.40	0.00	0.00	2.40	22.60	0.00	13.60	15.20	31.90	160.40	31.90
1993	34.50	11.40	24.00	8.50	0.00	16.00	0.00	11.40	2.50	34.00	30.00	15.20	187.50	34.50
1994	25.20	26.20	26.20	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80	12.70	20.00	26.60	156.20	26.60
1995	17.20	23.20	12.80	9.80	2.10	0.00	0.00	0.00	2.00	12.00	15.00	22.20	116.30	23.20
1996	20.20	24.20	15.10	6.20	1.40	0.00	3.40	3.50	2.00	5.00	8.30	13.50	102.80	24.20
1997	32.00	19.00	23.50	14.00	4.00	0.00	0.00	9.80	14.30	6.20	14.20	33.00	170.00	33.00
1998	12.00	17.40	12.70	26.50	0.00	1.20	0.00	2.00	4.00	10.00	25.00	27.80	138.60	27.80
1999	15.00	16.00	12.50	26.50	6.90	0.00	1.40	1.20	7.80	23.00	7.70	11.00	129.00	26.50
2000	18.30	15.00	14.50	3.70	7.00	3.30	6.20	1.80	5.90	17.20	3.20	19.00	115.10	19.00
2001	37.50	12.80	18.70	6.20	4.60	1.20	2.20	3.30	6.30	11.50	8.80	17.50	130.60	37.50
2002	22.90	24.00	15.50	15.00	9.30	2.00	5.30	4.70	7.00	14.40	16.20	11.10	147.40	24.00
2003	16.00	29.60	27.90	42.80	2.30	3.30	0.00	5.10	12.50	14.70	14.60	12.60	181.40	42.80
2004	21.50	29.40	18.30	10.80	1.10	2.00	2.20	11.60	18.00	4.00	13.20	32.50	164.60	32.50
2005	14.90	20.60	34.10	11.00	0.00	0.00	0.00	6.70	0.00	24.30	19.30	12.80	143.70	34.10
2006	28.60	30.90	17.68	6.60	0.00	3.20	0.00	1.50	2.40	10.10	16.40	31.10	148.48	31.10
2007	34.70	19.50	27.40	14.30	3.50	0.00	2.60	0.00	7.40	8.70	12.10	20.80	151.00	34.70
2008	10.20	31.80	7.20	2.90	1.50	1.00	0.00	1.50	0.00	11.20	14.00	28.00	109.30	31.80
2009	23.00	10.50	25.00	26.60	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	7.50	6.20	17.50	120.70	26.60
2010	36.00	15.30	59.20	27.20	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	19.00	8.80	185.70	59.20
2011	15.30	16.40	12.60	12.30	7.30	2.40	4.20	5.00	7.40	12.40	0.00	24.20	119.50	24.20
2012	20.60	20.20	18.70	17.30	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	8.10	24.50	12.80	125.30	24.50
2013	16.20	31.50	13.70	12.50	2.10	7.30	2.30	3.80	5.30	16.10	16.80	20.20	147.80	31.50
2014	18.00	21.70	17.30	13.50	2.40	0.00	1.10	7.90	5.70	23.30	26.30	29.70	166.90	29.70
2015	45.30	10.40	13.70	9.50	8.50	0.00	4.50	4.30	18.20	5.50	7.50	26.50	153.90	45.30
2016	32.80	18.50	33.50	19.20	0.00	0.00	4.20	13.10	10.40	12.50	14.10	25.60	183.90	33.50
2017	14.60	13.50	21.20	5.20	12.80	0.00	3.10	0.00	8.60	13.80	19.70	10.70	123.20	21.20
2018	21.30	22.10	19.30	8.80	5.27	2.24	0.09	0.01	10.70	3.94	6.23	16.81	116.79	22.10
2019	28.67	24.60	10.92	5.74	0.86	0.04	0.22	1.24	4.46	19.98	14.07	32.68	143.48	32.68
2020	24.33	22.42	22.95	6.97	0.05	0.00	0.00	0.26	15.79	5.20	18.96	31.38	148.31	31.38
2021	22.52	19.32	18.46	8.21	7.96	0.00	0.00	0.00	13.31	11.51	4.77	23.63	129.69	23.63
2022	25.10	19.69	27.89	10.24	1.50	0.34	0.07	3.75	6.99	12.86	10.28	25.09	143.80	27.89
2023	28.76	12.02	19.28	16.45	1.54	0.00	0.00	0.00	5.87	8.10	5.00	9.08	106.10	28.76
N° datos	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00
Promedio	22.13	18.60	21.08	13.84	3.95	1.74	1.48	3.98	7.94	12.43	14.08	21.34	142.59	30.52

Departamento: PUNO Provincia: MELGAR Estación: SANTA ROSA
 Latitud: 14° 37' 4.1" Longitud: 70° 47' 34" Distrito: SANTA ROSA
 Altitud: 3957 msnm Código: 114047 Tipo: Convencional - meteorológica

PRECIPITACION MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	P24h max
1963	29.91	16.87	23.60	17.71	3.76	0.54	0.01	6.32	18.45	21.65	12.81	12.17	163.80	29.91
1964	22.61	13.56	15.90	15.71	1.51	0.03	0.00	3.85	19.05	9.20	16.12	20.68	138.22	22.61
1965	19.96	24.60	26.63	12.09	0.07	0.00	1.61	1.36	14.23	14.88	13.17	13.25	141.85	26.63
1966	27.56	21.53	20.87	10.81	17.04	0.64	0.00	0.05	9.97	9.38	32.09	31.01	180.95	32.09
1967	20.27	11.40	21.00	8.02	19.54	26.97	36.82	20.83	17.69	5.93	7.96	12.27	208.70	36.82
1968	1.32	15.21	20.66	12.72	0.08	0.00	0.11	4.40	0.13	8.78	7.83	21.81	93.05	21.81
1969	1.07	17.09	12.53	12.39	0.04	0.40	0.03	1.28	5.42	16.63	10.93	16.12	93.93	17.09
1970	27.47	36.52	14.81	6.44	3.70	0.17	0.00	0.10	40.80	15.00	26.50	40.20	211.71	40.80
1971	29.00	21.00	9.50	37.30	1.50	0.10	0.00	1.00	0.00	26.40	18.40	19.50	163.70	37.30
1972	27.40	15.00	40.00	20.00	6.10	0.00	0.00	6.50	10.40	12.70	38.70	25.10	201.90	40.00
1973	16.30	23.50	37.10	30.30	9.90	4.80	0.00	13.60	20.50	21.60	10.50	10.60	198.70	37.10
1974	14.00	18.00	22.60	18.50	7.30	0.00	0.00	11.20	9.50	10.20	8.30	33.00	152.60	33.00
1975	36.80	20.10	19.30	9.90	6.00	6.50	0.00	3.90	7.50	18.00	26.60	19.10	173.70	36.80
1976	17.00	16.50	23.60	21.50	10.90	8.00	6.80	6.10	21.90	18.60	12.40	25.00	188.30	25.00
1977	41.10	36.50	27.10	11.80	0.00	0.00	5.60	0.00	18.00	15.00	34.90	36.10	226.10	41.10
1978	13.00	35.60	26.30	14.50	2.60	0.50	0.00	0.06	19.00	15.00	34.90	27.30	188.76	35.60
1979	35.00	41.00	35.00	35.10	2.30	0.00	0.00	1.32	7.60	11.98	26.56	19.09	214.95	41.00
1980	18.47	18.41	18.61	7.46	2.80	0.74	0.54	3.01	0.42	11.72	11.45	26.46	120.09	26.46
1981	14.94	29.78	19.38	21.24	14.36	2.32	0.19	2.97	11.41	19.02	13.57	35.91	185.09	35.91
1982	29.86	20.30	20.85	13.59	0.00	0.00	1.03	0.94	12.23	26.78	5.73	12.33	143.64	29.86
1983	19.76	20.39	7.30	10.75	0.50	0.10	0.00	0.00	5.70	10.53	51.45	42.85	169.33	51.45
1984	1.10	15.72	15.92	7.49	0.54	0.05	0.36	2.41	8.39	25.51	14.98	11.75	104.22	25.51
1985	24.52	17.80	11.56	21.99	5.77	1.99	0.02	5.60	17.53	15.15	16.36	12.03	150.32	24.52
1986	25.41	20.78	13.09	16.91	21.67	0.00	0.38	8.07	5.20	3.00	30.80	27.70	173.01	30.80
1987	20.80	14.80	19.40	10.30	1.00	0.00	7.50	10.80	5.10	8.20	16.00	38.31	152.21	38.31
1988	28.37	9.72	17.68	9.02	12.35	0.00	0.00	0.04	4.51	9.69	7.61	8.42	107.41	28.37
1989	29.54	20.80	19.22	19.08	3.02	1.76	0.40	19.00	17.60	8.50	9.90	14.50	163.32	29.54
1990	15.50	18.40	16.00	10.10	3.10	6.40	0.07	1.20	1.80	11.30	6.80	16.50	107.17	18.40
1991	27.80	15.30	18.10	11.50	7.80	11.90	0.00	0.00	6.80	14.80	9.70	17.80	141.50	27.80
1992	16.90	10.80	6.70	2.10	0.00	0.10	0.40	7.80	4.90	6.10	10.10	11.30	77.20	16.90
1993	20.60	10.70	16.80	13.30	7.40	4.80	4.10	9.80	5.80	8.70	15.30	18.40	135.70	20.60
1994	13.70	15.30	16.10	9.70	4.90	1.70	0.00	0.00	3.70	17.40	10.90	14.50	107.90	17.40
1995	15.80	16.70	13.60	4.70	3.70	0.00	0.00	0.00	6.50	11.30	24.80	12.20	109.30	24.80
1996	21.70	23.30	14.80	8.90	9.10	0.00	8.60	2.10	6.50	10.10	12.00	22.40	139.50	23.30
1997	30.60	19.00	20.80	8.70	3.10	0.00	0.19	6.70	12.60	7.90	16.20	19.50	145.29	30.60
1998	12.60	15.50	16.30	20.37	0.00	2.20	0.00	1.20	9.10	19.80	19.80	20.20	137.00	20.37
1999	21.60	16.60	24.80	8.60	3.80	0.00	0.00	0.00	13.30	9.30	11.30	14.20	123.50	24.80
2000	21.30	17.30	27.80	7.30	1.90	3.20	2.00	3.90	5.20	28.60	3.10	21.10	142.70	28.60
2001	20.70	17.40	22.30	8.80	16.00	0.00	3.30	2.50	4.20	9.40	9.20	10.40	124.20	22.30
2002	17.20	17.60	18.00	15.20	15.00	5.20	3.80	2.40	8.20	24.00	21.10	14.40	162.10	24.00
2003	12.90	18.10	31.90	31.40	6.50	2.30	0.00	4.20	11.70	5.30	6.00	19.70	150.00	31.90
2004	22.40	25.70	8.30	14.20	0.00	1.40	1.60	8.30	7.80	8.60	12.40	16.70	127.40	25.70
2005	10.80	18.50	23.80	8.90	0.00	0.00	2.60	7.20	1.20	7.20	21.30	26.20	127.70	26.20
2006	42.20	14.50	9.10	9.40	0.00	4.20	0.00	2.90	3.50	5.90	16.70	39.90	148.30	42.20
2007	29.20	10.80	26.70	16.90	6.20	1.20	2.40	0.00	9.20	10.60	17.30	10.10	140.60	29.20
2008	10.40	8.70	9.90	4.90	3.00	1.50	0.00	1.60	1.60	10.20	13.90	15.90	81.60	15.90
2009	12.50	15.80	12.80	5.00	1.20	0.00	1.20	0.00	2.90	11.20	19.00	12.50	94.10	19.00
2010	37.20	20.00	12.80	8.70	4.70	1.20	0.00	0.80	5.80	3.00	9.40	11.30	114.90	37.20
2011	12.00	16.10	11.60	10.80	7.80	1.20	2.40	1.20	10.20	10.10	11.20	21.20	115.80	21.20
2012	17.10	15.00	13.80	8.90	0.00	0.00	0.00	1.10	4.50	4.40	17.50	13.00	95.30	17.50
2013	16.90	12.40	13.20	8.80	2.80	3.80	1.20	1.80	3.20	9.60	19.30	21.70	114.70	21.70
2014	16.80	23.90	13.00	13.20	1.20	0.00	1.60	6.60	5.20	25.20	6.80	18.20	131.70	25.20
2015	25.20	15.40	20.10	11.40	0.00	1.60	2.40	3.50	13.40	4.80	44.25	23.80	165.85	44.25
2016	0.00	18.60	10.85	5.94	0.08	1.12	21.45	6.51	2.80	15.80	14.20	11.60	108.95	21.45
2017	26.40	11.60	14.60	6.80	3.60	0.00	17.47	0.05	16.83	23.33	9.57	14.62	144.87	26.40
2018	29.61	30.59	21.09	14.46	2.03	2.16	0.06	0.00	7.11	12.66	22.09	15.84	157.70	30.59
2019	10.46	13.12	15.95	6.60	8.87	2.37	0.01	2.84	7.45	11.42	15.44	22.68	117.21	22.68
2020	14.40	15.76	13.71	3.79	1.39	0.29	0.14	7.60	18.58	17.53	13.92	11.90	119.01	18.58
2021	6.35	19.05	11.80	8.08	8.95	0.00	0.00	0.00	13.67	9.56	12.04	13.08	102.58	19.05
2022	5.62	20.84	17.11	15.71	12.16	0.11	0.48	14.04	10.88	29.72	10.70	14.05	151.42	29.72
2023	29.01	20.81	19.11	10.10	0.25	0.11	0.00	0.12	4.85	6.60	13.67	17.25	121.88	29.01
N° datos	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00
Promedio	20.26	18.88	18.41	12.88	4.93	1.90	2.28	3.98	9.50	13.29	16.61	19.62	142.53	28.36

Fuente: SENAMHI (2020)

Departamento: PUNO Provincia: MELGAR Estación: LLALY
 Latitud: 14° 57' 10.3" Longitud: 70° 52' 49.9" Distrito: LLALLI Altitud: 3985 msnm Código: 114034 Tipo: Convencional - meteorológica

PRECIPITACION MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	P24h max
1963	19.84	18.84	38.23	20.51	13.72	0.07	0.02	0.07	11.23	15.57	14.00	18.50	170.60	38.23
1964	18.00	15.50	18.00	18.00	2.50	0.00	0.00	0.00	4.00	6.00	25.00	11.50	118.50	25.00
1965	18.00	21.50	25.00	19.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.50	7.00	9.50	21.50	125.00	25.00
1966	13.00	19.00	13.00	3.50	10.00	0.00	0.00	0.00	7.50	12.00	12.00	20.00	110.00	20.00
1967	8.00	20.00	18.00	7.50	6.00	0.00	5.00	7.50	10.00	12.00	2.00	35.00	131.00	35.00
1968	11.50	25.00	24.00	10.00	1.50	6.50	0.00	1.50	2.50	8.00	17.00	11.50	119.00	25.00
1969	15.00	23.50	9.00	8.50	0.50	0.50	0.00	1.50	15.50	24.00	10.00	20.50	128.50	24.00
1970	22.00	25.00	23.00	15.00	5.00	0.00	0.00	0.00	5.00	4.50	5.00	21.00	125.50	25.00
1971	20.00	18.00	10.00	13.50	0.50	0.00	0.00	4.00	0.00	6.50	9.00	18.00	99.50	20.00
1972	20.00	24.00	11.50	17.85	2.00	0.00	3.50	4.50	4.50	15.50	9.50	25.00	137.85	25.00
1973	29.00	16.00	13.50	15.00	1.00	0.00	3.00	5.00	10.00	7.00	15.00	16.00	130.50	29.00
1974	25.00	25.00	15.00	15.50	2.50	10.00	2.50	25.00	5.00	8.50	10.00	20.50	164.50	25.00
1975	24.00	40.43	16.44	7.00	6.50	0.00	0.00	1.00	5.00	6.00	10.50	16.00	132.87	40.43
1976	20.00	22.50	24.50	10.50	6.50	4.50	0.50	2.50	5.50	4.00	6.50	15.50	123.00	24.50
1977	13.00	35.00	12.50	7.50	2.50	0.00	0.03	0.09	14.80	11.20	20.50	9.60	126.72	35.00
1978	27.40	23.70	24.30	18.40	0.00	0.00	4.80	2.50	5.20	8.20	30.40	16.20	161.10	30.40
1979	20.20	24.00	24.20	16.20	0.30	0.00	0.20	8.20	2.20	22.00	18.00	22.00	157.50	24.20
1980	9.80	6.40	14.50	6.00	3.50	0.00	0.80	2.50	5.00	16.50	12.50	12.50	90.00	16.50
1981	14.50	10.00	26.50	28.50	5.83	0.00	0.07	3.03	1.62	15.48	6.78	15.93	128.24	28.50
1982	21.21	9.17	36.61	20.96	0.00	0.04	1.16	0.69	7.19	17.07	11.93	36.74	162.77	36.74
1983	16.74	28.13	18.32	18.13	3.55	33.52	0.27	0.00	3.09	13.91	18.70	21.22	175.58	33.52
1984	21.85	21.68	7.55	16.58	5.03	15.44	8.82	6.49	4.95	17.07	20.35	30.38	176.19	30.38
1985	20.67	25.59	21.22	20.54	5.32	3.07	0.04	1.68	10.62	17.07	18.60	17.55	161.97	25.59
1986	17.16	21.25	13.97	19.73	10.60	0.00	0.33	31.48	4.95	14.34	19.90	9.92	163.63	31.48
1987	11.49	15.60	13.27	17.04	1.43	2.06	7.14	30.15	4.85	4.31	19.38	12.33	139.05	30.15
1988	20.65	31.27	30.54	20.96	3.37	0.06	0.01	0.36	1.42	16.97	19.97	23.43	169.01	31.27
1989	17.90	13.92	16.52	17.29	6.73	0.00	0.30	13.90	9.72	9.42	1.90	24.18	131.78	24.18
1990	37.69	35.70	23.06	5.59	7.64	70.83	0.05	0.24	2.72	12.97	5.91	17.33	219.73	70.83
1991	38.55	16.78	10.76	16.09	11.11	4.18	9.21	1.28	8.66	17.07	15.26	16.24	165.19	38.55
1992	32.55	30.11	12.21	19.33	0.25	0.02	0.17	10.66	1.31	4.04	0.23	23.55	134.43	32.55
1993	16.65	22.98	26.94	12.61	2.60	77.17	0.06	12.00	5.40	27.00	33.70	20.30	257.41	77.17
1994	29.00	17.80	22.70	21.80	1.40	0.00	0.00	0.00	4.20	6.50	13.70	13.50	130.60	29.00
1995	21.60	25.20	13.40	19.30	0.80	0.00	1.30	8.50	5.10	10.70	11.50	13.70	131.10	25.20
1996	18.00	17.00	41.00	8.80	12.70	0.00	0.00	2.00	4.40	6.40	7.10	19.50	136.90	41.00
1997	27.10	16.60	20.50	19.20	3.10	0.00	0.00	6.60	8.50	10.10	17.60	22.80	152.10	27.10
1998	32.00	35.90	17.20	18.50	0.00	1.10	0.00	7.50	3.60	14.80	12.00	18.20	160.80	35.90
1999	19.50	33.10	26.70	35.10	3.90	1.70	0.00	1.00	11.10	12.30	10.50	29.60	184.50	35.10
2000	22.20	28.60	17.40	5.00	13.40	1.60	9.00	3.60	4.00	13.10	7.50	13.00	138.40	28.60
2001	22.90	20.10	17.30	12.50	9.00	0.00	2.20	0.00	11.35	0.00	0.00	12.80	108.15	22.90
2002	16.50	15.10	23.10	9.70	12.20	0.50	6.60	3.20	4.60	17.20	26.00	9.50	144.20	26.00
2003	18.00	15.00	15.50	9.00	1.60	1.90	0.00	5.10	17.60	6.80	11.00	13.60	115.10	18.00
2004	24.60	19.00	20.10	11.00	2.70	3.40	4.20	9.70	8.60	6.30	10.80	34.50	154.90	34.50
2005	10.20	24.00	30.80	18.20	0.20	0.00	1.20	1.70	3.60	12.20	28.30	15.40	145.80	30.80
2006	21.40	13.70	16.30	15.60	0.00	4.30	0.00	8.60	3.60	7.80	11.50	20.60	123.40	21.40
2007	29.20	12.20	33.60	16.40	12.60	0.40	7.80	0.00	18.60	14.80	18.00	30.90	194.50	33.60
2008	21.50	30.70	13.30	0.30	3.20	4.50	0.00	2.00	7.20	12.50	7.10	27.40	129.70	30.70
2009	13.50	13.20	25.00	16.50	2.50	0.00	0.10	0.00	9.80	12.20	21.20	22.90	136.90	25.00
2010	19.40	23.00	14.10	27.40	4.30	0.00	0.40	0.00	0.00	7.70	21.00	17.80	135.10	27.40
2011	12.40	32.50	22.70	22.90	6.50	0.00	4.40	5.60	8.90	7.50	11.60	30.80	165.80	32.50
2012	22.00	22.50	13.50	14.60	4.80	0.00	0.00	0.00	2.70	7.00	9.00	29.00	125.10	29.00
2013	18.80	18.50	16.90	13.90	4.70	11.80	4.60	14.50	9.40	35.30	14.70	30.40	193.50	35.30
2014	17.50	25.50	16.00	8.90	0.80	0.00	1.60	5.30	7.60	22.30	14.60	18.30	138.40	25.50
2015	23.00	14.00	9.50	15.70	2.70	0.03	8.60	9.26	5.80	10.40	12.80	15.50	127.29	23.00
2016	15.60	13.60	12.80	17.40	1.00	1.50	1.01	9.70	7.50	24.60	9.80	23.20	137.71	24.60
2017	17.20	10.80	37.30	11.80	10.50	1.00	0.80	0.00	9.60	15.80	24.70	21.50	161.00	37.30
2018	31.00	28.00	28.20	13.70	9.32	0.00	0.01	0.25	3.58	17.07	17.21	23.69	172.03	31.00
2019	13.31	29.03	24.87	10.29	1.19	0.29	0.01	2.04	11.77	17.00	13.50	23.63	146.93	29.03
2020	20.60	23.02	19.01	12.50	0.02	0.17	0.97	0.09	5.48	3.35	4.98	24.73	114.92	24.73
2021	29.57	25.16	24.20	17.88	3.35	0.00	0.10	0.00	11.77	15.63	16.63	17.90	162.19	29.57
2022	17.86	10.11	21.09	19.37	6.23	0.04	0.10	15.20	10.08	11.07	10.00	21.20	142.35	21.20
2023	25.93	23.35	10.61	13.28	1.43	0.08	0.01	0.00	11.77	13.76	16.80	14.25	131.27	25.93
Nº datos	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00
Promedio	20.54	21.67	19.95	15.07	4.33	4.30	1.70	4.92	6.77	12.35	13.77	20.16	145.53	30.15

Fuente: SENAMHI (2020)

Departamento: PUNO Provincia: MELGAR Estación: PAMPAHUTA
 Latitud: 15° 29' 1.27" Longitud: 70° 40' 33.55" Distrito: PARATÍA Altitud: 4316 msnm Código: 115027 Tipo: Convencional - meteorológica

PRECIPITACION MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	P24h max
1963	26.50	20.50	34.30	17.80	12.50	0.00	0.00	0.30	7.20	22.00	7.60	40.10	188.80	40.10
1964	7.50	17.80	24.90	10.20	14.90	0.00	0.00	4.40	3.40	4.00	11.00	11.90	110.00	24.90
1965	35.20	22.50	20.90	12.50	3.30	0.50	2.50	0.00	7.70	12.90	33.50	20.72	172.22	35.20
1966	16.00	22.50	14.80	10.00	16.20	0.00	0.00	0.00	3.00	21.90	19.30	19.90	143.60	22.50
1967	12.10	13.70	25.00	17.90	7.50	0.40	3.80	4.10	11.60	12.60	12.90	28.20	149.80	28.20
1968	21.60	29.80	22.00	8.50	7.20	1.60	5.80	3.00	11.00	14.45	32.50	20.40	177.85	32.50
1969	20.70	14.80	8.20	16.30	0.00	0.50	5.30	1.00	11.50	17.70	20.40	45.70	162.10	45.70
1970	15.60	33.30	19.20	9.50	8.70	3.40	0.00	5.40	7.20	9.30	4.20	26.20	142.00	33.30
1971	33.60	30.70	21.30	12.00	3.90	5.30	0.00	4.70	1.80	6.30	12.90	19.40	151.90	33.60
1972	35.40	17.40	22.90	14.80	0.30	0.00	0.00	1.50	7.10	15.00	10.30	26.60	151.30	35.40
1973	30.20	28.80	28.10	25.70	19.00	1.20	8.90	5.50	14.90	6.60	15.60	31.40	215.90	31.40
1974	25.80	27.40	25.70	5.30	0.30	5.60	0.60	21.30	2.40	11.00	6.50	33.10	165.00	33.10
1975	26.20	21.50	22.60	10.00	11.00	0.80	0.00	1.60	0.70	11.00	15.90	25.30	146.60	26.20
1976	28.30	35.20	30.40	14.60	12.80	0.90	2.30	14.70	15.00	2.10	3.00	12.20	171.50	35.20
1977	19.40	20.70	27.00	2.80	1.30	0.00	3.70	0.00	7.20	12.50	22.80	26.70	144.10	27.00
1978	33.10	19.50	25.60	10.00	0.30	1.00	0.60	0.40	9.90	15.60	25.50	34.00	175.50	34.00
1979	31.80	17.90	28.10	11.40	1.30	0.00	2.40	4.30	0.90	16.30	26.60	24.30	165.30	31.80
1980	27.70	13.60	36.50	4.90	1.20	0.20	3.10	4.60	10.80	24.60	5.60	9.20	142.00	36.50
1981	23.50	45.30	32.90	35.30	1.40	0.00	0.00	11.20	1.40	15.90	17.30	26.00	210.20	45.30
1982	21.10	15.00	21.10	22.90	3.20	0.50	0.00	1.40	8.60	18.80	22.20	12.50	147.30	22.90
1983	30.00	10.60	30.40	18.30	10.80	1.90	0.00	0.70	3.80	8.10	1.50	18.90	135.00	30.40
1984	31.40	31.40	26.30	7.20	11.60	0.80	0.90	15.30	0.00	18.80	27.10	43.60	214.40	43.60
1985	9.90	17.40	27.30	18.80	20.80	7.10	0.00	0.80	2.30	9.00	32.60	31.00	177.00	32.60
1986	28.70	26.30	18.70	35.70	4.50	0.00	0.00	2.50	6.80	17.70	17.50	21.50	179.90	35.70
1987	25.20	8.20	16.20	4.00	0.60	1.50	13.50	0.60	1.50	15.80	19.30	14.00	120.40	25.20
1988	27.80	14.20	32.40	18.30	4.60	0.00	0.00	0.00	9.20	15.40	2.50	19.70	144.10	32.40
1989	22.00	23.30	16.30	27.90	2.40	7.90	1.20	3.50	1.40	5.40	17.60	34.30	163.20	34.30
1990	27.10	17.40	14.80	17.10	2.50	19.90	0.00	5.20	2.30	19.30	20.00	17.60	163.20	27.10
1991	32.10	26.10	28.80	18.60	3.60	14.70	3.10	0.00	16.20	11.40	12.00	24.50	191.10	32.10
1992	18.40	36.60	8.90	8.20	0.00	1.60	0.00	28.70	0.00	6.00	17.00	23.40	148.80	36.60
1993	36.30	30.80	26.80	13.00	3.80	0.80	0.00	7.30	1.60	32.60	22.40	30.80	206.20	36.30
1994	35.60	18.60	23.40	14.70	23.40	1.10	0.00	0.00	12.70	10.50	37.30	21.60	198.90	37.30
1995	20.30	22.20	22.30	17.50	1.10	0.00	0.00	2.60	4.70	5.50	11.90	25.40	133.50	25.40
1996	39.80	20.30	11.40	19.10	15.00	0.00	0.00	18.10	6.20	2.10	29.60	38.80	200.40	39.80
1997	40.60	27.20	12.40	17.30	4.90	0.00	0.30	9.80	14.30	11.70	42.30	24.20	205.00	42.30
1998	19.60	38.00	18.00	17.50	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	16.20	21.00	18.50	149.70	38.00
1999	30.00	12.80	29.10	25.80	16.60	1.10	0.80	1.90	5.20	23.40	13.90	38.60	199.20	38.60
2000	34.00	30.50	34.40	12.00	6.60	1.50	0.40	6.50	4.40	24.70	5.00	28.70	188.70	34.40
2001	28.90	49.90	17.70	29.60	14.20	2.90	3.70	7.20	5.70	20.50	12.10	20.00	212.40	49.90
2002	40.50	47.90	13.60	17.00	5.70	1.10	13.80	2.20	4.30	12.30	16.00	30.80	205.20	47.90
2003	36.40	31.40	35.20	7.20	5.60	2.80	0.00	0.00	7.90	14.00	7.60	28.60	176.70	36.40
2004	28.30	40.00	13.90	16.60	0.00	0.30	5.40	4.90	15.00	8.10	9.30	26.00	167.80	40.00
2005	20.60	30.60	15.60	19.40	0.00	0.00	0.00	0.60	20.60	9.00	43.30	20.10	179.80	43.30
2006	17.70	30.40	30.20	33.10	1.80	0.00	0.00	9.10	15.30	11.30	28.80	14.20	191.90	33.10
2007	25.50	33.00	29.90	20.00	7.80	0.00	7.10	0.00	4.50	14.40	13.50	20.50	176.20	33.00
2008	25.20	12.70	26.20	3.50	0.50	3.90	0.00	0.20	3.30	13.60	6.90	38.60	134.60	38.60
2009	12.70	26.30	16.10	15.90	2.60	0.00	3.40	0.70	3.40	15.80	19.10	21.90	137.90	26.30
2010	31.10	32.70	18.70	10.90	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	13.10	18.80	20.30	149.80	32.70
2011	28.30	23.10	22.30	27.60	2.90	0.00	3.90	1.50	8.20	4.90	15.60	31.10	169.40	31.10
2012	49.90	29.70	22.90	13.10	1.30	0.40	0.00	3.20	2.10	20.20	21.90	21.60	186.30	49.90
2013	21.45	22.10	13.30	3.70	4.53	0.08	0.60	10.40	1.54	9.50	7.73	13.09	108.02	22.10
2014	39.92	29.29	30.06	6.58	17.06	0.00	2.38	2.20	14.06	16.32	10.15	35.96	203.98	39.92
2015	30.19	38.08	30.72	5.62	0.78	26.76	1.55	5.90	15.10	11.31	16.60	26.45	209.06	38.08
2016	17.46	45.05	19.10	13.12	0.87	1.33	1.36	21.80	18.86	15.64	9.89	27.97	192.45	45.05
2017	20.50	21.09	15.34	20.23	12.75	0.01	0.35	0.72	12.60	22.71	17.41	28.89	172.60	28.89
2018	20.51	15.13	16.81	6.53	8.20	0.25	0.93	15.35	17.98	6.89	19.29	28.40	156.27	28.40
2019	18.96	20.79	25.85	30.70	0.36	0.39	0.00	13.27	0.23	23.73	33.46	21.36	189.10	33.46
2020	16.94	21.55	14.99	22.33	3.08	0.48	0.00	0.03	19.27	21.74	20.84	33.11	174.36	33.11
2021	34.45	26.67	20.92	12.33	9.71	0.31	0.53	0.17	10.81	13.78	8.62	22.50	160.80	34.45
2022	29.84	13.69	11.59	26.96	1.25	0.00	1.47	0.85	8.53	24.93	6.09	30.69	155.89	30.69
2023	24.62	34.88	22.40	5.62	7.25	0.34	0.06	0.00	1.72	21.02	6.85	21.14	145.90	34.88
N° datos	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00
Promedio	26.56	25.51	22.50	15.59	6.09	2.03	1.73	4.81	7.33	14.24	17.15	25.45	168.99	34.56

Fuente: SENAMHI (2020)