



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 cuenca llave, Puno
– 2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Paredes Quispe, Juan Reynaldo (orcid.org/0000-0001-6642-7339)

ASESOR:

Dr. Vargas Chacaltana, Luis Alberto (orcid.org/0000-0002-4136-7189)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Roberto y María que me dieron la vida para sentir el deseo de buscar en el horizonte de las oportunidades la labor responsable y el esfuerzo necesario para emprender nuevos retos en el logro de satisfacciones de reforzar mis conocimientos. De esa forma cumplir con mis anhelos académicos y de investigación en favor de la comunidad regional y nacional.

Agradecimiento

Agradezco al Señor por guiar mi camino, bendecir las acciones y las oportunidades puestas en el día a día para realizar obras en bien del prójimo.

A mi asesor Dr. Vargas Chacaltana, Luis Alberto por su dedicación, apoyo, el conocimiento compartido y por su paciencia durante todas mis dificultades en esta investigación.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la organización, control y ejecución de la investigación, desde el suministro de datos, programas y hasta su entendimiento.

Por último, a todos los amigos que me ayudaron a lograr este objetivo tan anhelado por mi persona para concretizar mi carrera profesional.

Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras	vi
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	14
III. METODOLOGÍA.....	34
3.1 Tipo y diseño de investigación	34
3.2 Variables y operacionalización	35
3.3 Población, muestra y muestreo	36
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.5 Método de análisis de datos.....	39
3.6 Procedimientos.....	39
3.7 Aspectos éticos	39
IV. RESULTADOS.....	40
V. DISCUSIÓN	65
VI. CONCLUSIONES.....	76
VII. RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS	78
ANEXOS.....	79

Índice de tablas

Tabla N° 1: Parámetros de Validez	38
Tabla N° 2: Validez de contenido de las variables.....	38
Tabla N° 3: Características fisiográficas de la cuenca del río llave	41
Tabla N° 4: Precipitaciones máximas en mm/día/anual de la cuenca llave 1964-1958	42
Tabla N° 5: Parámetros de la distribución de probabilidad Gumbel	49
Tabla N° 6: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gumbel	51
Tabla N° 7: Parámetros de la distribución de probabilidad Normal	53
Tabla N° 8: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Normal	55
Tabla N° 9: Parámetros de la distribución de probabilidad Gamma (Pearson Tipo III)	57
Tabla N° 10: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gamma (Pearson Tipo III)	59
Tabla N° 11: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Gumbel.....	65
Tabla N° 12: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Gumbel.....	67
Tabla N° 13: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Normal.....	69
Tabla N° 14: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales	

máximos según periodos de retorno por la distribución Normal	70
Tabla N° 15: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Pearson Tipo III	72
Tabla N° 16: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Pearson Tipo III	74

Índice de gráficos y figuras

Figura N° 1: Diagrama esquemática del ciclo del agua	31
Figura N° 2: Muestra de un sistema con entrada y salida de un modelo hidrológico	32
Figura N° 3: Representación de una cuenca con modelo distribuido en tridimensional	33
Figura N° 4: Mapa político del Perú, de la Región de Puno y la cuenca del rio llave	40
Figura N° 5: Ubicación geográfica de la cuenca del rio llave	41
Figura N° 6: El rio llave, antes del cruce a la ciudad de llave.....	42
Figura N° 7: Histórico de precipitaciones máximas anuales (mm/día) - llave	43
Figura N° 8: Histórico de precipitaciones totales anuales (mm/año) - llave.....	44
Figura N° 9: Hietograma de precipitaciones promedio mensual (mm/mes) – llave	45
Figura N° 10: Hietograma de precipitaciones máximas por mes (mm/mes) – llave	46
Figura N° 11: Menú de presentación del software HyFranPlus	47
Figura N° 12: Menú de ingreso y edición de datos en HyFranPlus	48
Figura N° 13: Menú de reportes de estadísticas básicas en HyFranPlus.....	48
Figura N° 14: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel.....	50
Figura N° 15: Menú de la prueba de bondad a la distribución Gumbel en HyFranPlus.....	51

Figura N° 16: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel	52
Figura N° 17: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Normal.....	54
Figura N° 18: Menú de la prueba de bondad a la distribución Normal en HyFranPlus	55
Figura N° 19: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Normal	56
Figura N° 20: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson Tipo III).....	58
Figura N° 21: Menú de la prueba de bondad a la distribución Pearson tipo III en HyFranPlus.....	59
Figura N° 22: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson Tipo III).....	60
Figura N° 23: Menú de captura de imagen de la cuenca del río llave en GeoHMS	61
Figura N° 24: Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en GeoHMS.....	61
Figura N° 25: Menú de reconocimiento de bloques de la cuenca del río llave en GeoHMS.....	62
Figura N° 26: Menú de reconocimiento mini cuencas de la cuenca del río llave en GeoHMS.....	63
Figura N° 27: Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en HeCHMS	63
Figura N° 28: Menú de reportes de caudales máximos de la cuenca del río llave en HeCHMS	64
Figura N° 29: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Gumbel.....	66
Figura N° 30: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Gumbel.....	66
Figura N° 31: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Gumbel.....	67
Figura N° 32: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución	

Gumbel.....	68
Figura N° 33: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Normal.....	69
Figura N° 34: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Normal.....	70
Figura N° 35: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Normal.....	71
Figura N° 36: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Normal.....	71
Figura N° 37: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Pearson.....	73
Figura N° 38: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Pearson.....	73
Figura N° 39: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Pearson.....	74
Figura N° 40: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Pearson.....	75

Resumen

El estudio hidrológico es importante, para fines de diseño de obras hidráulicas y en temas de prevención de la gestión de riesgos, por lo que el caudal máximo que se registra durante el aumento inusual por eventos extremos supera los valores medios normales. El objetivo principal es determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022. Los métodos que se usaron fueron la distribución Gumbel; Normal y Gamma (Pearson Tipo III). Se ha utilizado los datos de precipitación máxima de 24 horas al año, de la estación pluviométrica de llave, provincia de El Collao, región de Puno - Perú, la estimación de los caudales máximos de diseño fueron procesados por el método de Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y el hidrograma unitario. Cuyos resultados alcanzados fueron: mediante la distribución Gumbel una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de $141.6 \text{ m}^3/\text{s}$, mediante la distribución Normal una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de $175.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y mediante la distribución Gamma (Pearson Tipo III) una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de $168.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Llegando a la conclusión que la distribución normal es la de mejor ajuste a los datos de precipitación máxima de 24 horas al año, por el método de máxima verosimilitud (maximum likelihood) y por mostrar menor variabilidad en la estimación por tiempos de retorno (TR).

Palabras clave: Caudal máximo, cuenca, estimación, precipitación máxima, tiempo de retorno.

Abstract

The hydrological study is important, for purposes of design of hydraulic works and in issues of prevention of risk management, the maximum flow rate that is recorded during the unusual increase by extreme events, exceeding the normal average values. The main objective is to determine the maximum design flows using conventional probabilistic methods in the Ilave basin, Puno - 2022. The methods used were the Gumbel distribution; Normal and Gamma (Pearson Type III). It has been considered the maximum precipitation data to 24 hours to year from Ilave station from El Collao province, Puno region – Perú country, the estimation of the maximum design flows were processed by the soil conservation service (SCS) method and the unit hydrograph. Whose results were achieved through the Gumbel distribution an approximate maximum design flow estimate of 141.6 m³/s, using de normal distribution, an approximate maximum design flow estimate of 175.5 m³/s and by means of the Gamma distribution (Pearson Tipo III) an estimation of approximate maximum flow of 168.2 m³/s. Concluding that the normal distribution is the one with the best fit to the maximum precipitation data for 24 hours a year, by the maximum likelihood method and by showing less variability in the estimation by return times (TR).

Keywords: basin, estimation, maximum flow, precipitation, return time.

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito internacional Morales y Medina (2019) puntualizan en su investigación que:

En el caso de algunas obras de construcción, debemos tener en cuenta el aumento de los caudales de las cuencas a la hora de analizar los cálculos de las estaciones hidrometeorológicas. El caudal es la cantidad de líquido que circula por un río por unidad de tiempo. Por lo general, se identifica por el flujo de volumen o el volumen que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo. Los caudales máximos del diseño se determinan en función a series históricas o datos de los aforos, si los datos no son suficientes se utilizan los criterios de diseño provistos por normas nacionales e internacionales (p.18).

A nivel nacional Alonso (2021) en su trabajo de investigación sobre el estudio del agua registra que:

En el Perú existen instituciones públicas especializadas en recursos hídricos, como SENAMHI, ANA, donde se determinan diferentes categorías del gobierno (nivel nacional, nivel regional y nivel local). Estos entes administran, controlan, registran y evalúan los recursos hídricos. Además, en el territorio nacional del Perú, la ley indica que se debe hacer una planificación para cada cuenca y que se deben formar consejos (grupos de personas que usan el agua para sus propios fines) para cada uno. ANA tiene permiso para no construir ni proponer obras que alteren el caudal del río, como residencias no autorizadas, edificaciones, obras públicas, entretenimiento y más, pero parece que todos los estudios y esfuerzos son insuficientes y no otorgan confianza entre los vecinos, según la guía y ediciones de Ven To Chow y Máximo Villón, realizó estimación del análisis de la consistencia, verificaciones de distribución de probabilidad, entre otras cosas, como parte del proceder para obtener una curva de tormenta o IDF diseñada (intensidad, duración y frecuencia); Con base en esta información, fue posible determinar intensidades máximas de diseño con diferentes períodos de retorno. Posteriormente, los datos fisiográficos de la cuenca recolectados en el proceso de investigación se volvieron determinantes en la evaluación de caudales, parámetros como área, coeficiente de secado, tiempo de concentración, etc.; Con base en los datos de referencia obtenidos, los flujos máximos se calcularon utilizando los métodos Mac Math y Modified Rational; Se presentó una hipótesis general que puede mostrar que las planicies de inundación varían según los caudales máximos durante los diferentes

periodos de retorno, para que esto pueda determinarse mediante aplicaciones informáticas y modelación hidráulica. (p.10).

A nivel regional, en la investigación realizada por Mamani (2021) manifiesta que:

Los estudios hidrológicos son importantes para estimar las características de los caudales máximos y mínimos según se desee, en determinados casos el objetivo es estimar los caudales máximos para la planificación de obras de hidrología como protección de ríos. proporcionar medidas de protección para evitar futuras inundaciones en los lugares medio y bajo de la cuenca. Para crear escenarios actuales y futuros, se deben conocer los flujos máximos por tiempo de retorno de acuerdo con las estaciones meteorológicas disponibles en su área. Actualmente existe poca información de la calidad de los datos meteorológicos e hidrométricos, en algunos casos se estiman caudales medios, los cuales se incluyen en este trabajo con cálculos, los caudales máximos son con diferentes técnicas desarrolladas y diferentes tiempos de ejecución, lo que nos da una idea de cómo se dará el comportamiento bajo los escenarios de implementación de medidas para los habitantes de lugares medio y bajo de la subcuenca de Ayaviri (p.14).

En este trabajo se plantea como problema general: ¿Cuánto son los caudales máximos de diseño usando métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno - 2022? Como también se plantean los problemas específicos: ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel en la cuenca llave, Puno - 2022?, ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante la distribución normal en la cuenca llave, Puno - 2022? Y ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III) en la cuenca llave, Puno - 2022?

Como propuesta de justificación teórica que los resultados se determinen a partir de modelaciones probabilísticas (modelos hidrológicos) de los caudales máximos de la cuenca de estudio y se puedan realizar a través de un análisis comparativo crítico basado en las precipitaciones máximas adecuadas y obtenidas técnicamente. Tiene una justificación metodológica para alcanzar los fines pretendidos mediante la implementación de un proceso metódico determinado según los lineamientos metodológicos de la investigación científica como base técnica permite gestionar adecuadamente los recursos hídricos con la ayuda de herramientas informáticas, lo que mejora las condiciones de

adaptación a los eventos naturales. La justificación social permite planificar obras hidráulicas y la ordenación del territorio, lo que genera puestos de trabajo y eventualmente puede mejorar la calidad de vida de la población que vive en la cuenca del llave. La justificación económica se basa en la prevención de desastres naturales, en este caso la prevención de inundaciones o desbordes en cultivos y viviendas familiares rurales. Esta investigación tiene justificación ambiental porque es ecológicamente sostenible ya que tiene como objetivo preservar los ecosistemas de la cuenca del río llave en su forma natural, la coexistencia social sin problemas de desbordamiento permanente en ciertas partes críticas de la cuenca del río llave.

Se plantea como objetivo general: Calcular los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022. Como también se formulan los objetivos específicos: determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel; determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal; Estimar los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III).

En la hipótesis general se plantea que: los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos son iguales en la cuenca llave, Puno – 2022. Las hipótesis específicas son: los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel, son similares a los demás métodos; los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal, son iguales a los demás métodos; los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III), son iguales a los demás métodos.

II. MARCO TEÓRICO

Como respaldo de investigación se revisó otros trabajos realizados, así se tiene antecedentes a nivel internacional, por ello Briceño y Yamit (2019) en su investigación plantea:

En su objetivo es estudiar la regionalización de caudales máximos de los recursos de agua en la provincia de Gualivá a través del método de aumento del índice estadístico, su metodología para calcular los caudales máximos en diferentes distintos de retorno, para el análisis de distribución se utiliza el programa SMADA, que calcula los tres métodos y elabora el pronóstico de caudal en diferentes años para desarrollar un método estadístico para incrementar la tasa, obteniendo los siguientes resultados, según el porcentaje calculado en cada periodo de recuperación y la técnica del RMAE, los errores proporcionales entre los caudales máximos registrados y los caudales máximos estimados en la Región 1 varían de 10.0 a 3.71%, los cuales se encuentran dentro de los límites de error aceptables (0 - 25%). Para determinar los valores del método de crecimiento de la región 2 se toman los caudales máximos observados correspondientes a los datos reales y se hace una estimación de los caudales máximos para periodos de retorno (2.33, 5, 10, 25, 50, 100), la conclusión es que de las 8 estaciones analizadas, se encontró que todas corresponden a la mayoría de los datos proporcionados por las estimaciones de caudal máximo anual utilizadas para desarrollar y analizar el método del índice de creciente, como el número de estaciones. se dividió en dos regiones similares para desarrollar el método del índice de crecimiento, dividido en dos regiones, porque los datos obtenidos usando una región no fueron suficientes, porque representa una gran variación de las técnicas estadísticas, la distribución estadística de Gumbel persuade al conjunto de datos a favor, por lo que la desviación estándar del método nos da un pequeño sesgo.

Como también Acosta (2018) en su investigación realizada:

Se registra para dictamen académico el propósito de diseñar una planta de tratamiento de aguas utilizadas para la ciudad de Ambato para lavado de autos y se propone como metodología un trabajo experimental realizado en dos tipos de estudios: estudios de campo para obtener la cantidad de agua utilizada. en un lavado de autos, el proceso de captación de agua que utiliza cada lavadora y el proceso de lavado, un estudio de laboratorio para la estimar los resultados de los parámetros del agua residual con análisis físico-químicos periódicos realizados en un laboratorio especializado, su población consta de 61 lavadoras que

corresponden a la zona de Ambato . catastro cantonal, el muestreo es no probabilístico según juicio o consideración de expertos, cuyos resultados consideran que no existe volumen de vaciado para un vehículo durante todo el período de lavado, de acuerdo a los datos obtenidos por el método de volumen existen valores que son aproximados al volumen de vaciado, en cuyo caso se decide hacer el cálculo con una regla de tres simple, tomando como referencia el tiempo total de lavado de cada vehículo, lo que da como volumen de referencia, los caudales por el método C es 6.98 litros/min, para el método 1 es de 1.56 lt/min, para el método 2 es de 2.32 lt/min, el caudal promedio diario con un valor de 2.32 lt/min, se concluye que el caudal de diseño calculado es de 2.32 lt/min, pero el caudal de diseño en la planta de tratamiento se utiliza un caudal de 3 l/min, que sirve como zona de seguridad para el limpiador, se explicaron los procesos que requiere el agua que ingresa a la red de alcantarillado.

También se tiene a Ricetti (2022) en su trabajo que formula:

El objetivo es caracterizar la evolución temporal de los flujos de CRN en el contexto de años consecutivos por debajo de la media histórica e investigar los mecanismos físicos de forzamiento de la circulación troposférica asociados con su variación anual durante la década de 1980 - 2019, aplica su metodología, por ejemplo, la delineación de cuencas hidrográficas, subcuencas y redes de drenaje se realizó utilizando el modelo de pendiente 'Shuttle Radar Topography Mission' de radar procesado QGIS GIS, procesamiento de datos, análisis estadístico y trazado gráfico. utilizando el software de código libre "R", llegando a resultados como la serie temporal de caudales en cada una de sus fases y su coherencia, se encontró que la serie anual de Fase_min, Fase_int y Fase_max representa un quiebre o salto significativo a valores inferiores del 2007 y el 2010, cuando el promedio de Fase_int muestra hasta un 50% de disminución en AND y el valor medio de Fase_max significa en PDI una caída del 35%. Esta discontinuidad induce una tendencia de falsos negativos que es significativa cuando se analiza durante todo el período de análisis, y las distribuciones antes de las discontinuidades de Fase_int y Fase_max muestran similitudes para cada medición, lo que sugiere un clima común. En cambio, las distribuciones Fase_min presentaron características estadísticas de las series Fase_int y Fase_max, indicando que existen características climatológicas en el caudal durante la fase mínima. Sin embargo, en términos de variabilidad, en ninguna estación la varianza de estas series de tiempo es mayor a 42 %, indicando que las variabilidades son diferentes, se concluye que la presencia de extremos de caudal alto y bajo en la serie Fase_max indica la participación de varios forzantes que requieren detallarse en la clasificación de los procesos de baja frecuencia, todos

los cuales se relacionaron con la aparición de precipitación en el CRN en los meses anteriores, entre los principales resultados se reporta que el factor clave es la cantidad de precipitación en la estación fría de mayo a septiembre, debido a que en el trimestre JJA es la más importante, en este sentido pueden ocurrir caudales extremos debido a dos procesos de gran escala que interactúan entre sí, además de otros factores aún por explicar, y que provocan perturbaciones en las precipitaciones invernales..

Como antecedentes nacionales se tiene la investigación de Zela (2021) que formula:

Como objetivo es calcular los caudales máximos mediante métodos probabilísticos e hidrometeorológicos, Río Salcca, Canchis, Cusco – 2021, cuya metodología define el tipo de investigación aplicada, se registra como proyecto no experimental, a nivel explicativo, existe un enfoque cuantitativo, la población se determina a partir de la cuenca Urubamba Vilcanota, la muestra está conformada por Salcca de la cuenca, del río Urubamba Vilcanota, la unidad de análisis los define por el conjunto de microcuencas correspondientes a la cuenca de Salcca, obtenidas a partir de los resultados de los valores de caudal: Media 87,32 m³/s, Media 82,97 m³/s, Mínima 71,88 m³/s, Máxima 113,81 m³/s (capa exterior, vista como el único intervalo exterior) y otros valores del cuartil correspondiente dieron un coeficiente de correlación (r) de 0,96, valor dentro del rango aceptable de correlación. en conjunto, se confirmó con las distribuciones de probabilidad Log normal 3P y Log Pearson Tipo III son las que brindan un mejor ajuste, Utilizando la prueba de Kolmogorov Smirnov para determinar que la distribución de probabilidad Log Normal 3P (106,9 m³/s), la distribución Gamma 3P (106,25 m³/s), la distribución Log Pearson Tipo III (106,58 m³/s) y el valor de distribución Tipo I (Gumbel) (106,39 m³/s), se ajusta mejor estadística y gráficamente, y el valor de distribución normal (10,13 m³/s) es relativamente más bajo que los demás.

Para el caso de análisis de caudales máximos Alonso (2021) en su investigación registra:

El objetivo es determinar el efecto de caudales elevados del río Pomabamba en las zonas inundables del distrito de Pomabamba Ancash - 2021, en el cual la metodología del plan de investigación no experimental plantea que el grado de investigación es de correlación descriptiva, el enfoque del cual es cuantitativa, la población requerida para llevar a cabo el trabajo de investigación está conformada por las quebradas y ríos que dan origen al río Pomabamba, la muestra para este

estudio es el río Pomabamba, se encuentra dentro de las coordenadas: -8.81318 S, -77.692 W y -8.8260 S, -77.5713 W, zona urbana de Pomabamba. el resultado es una franja con un ancho de 100 a 130 metros y una longitud de 1.967 metros, que es la extensión actual del casco urbano de la ciudad de Pomabamba. “Los máximos caudales pico del río Pomabamba tienen efectos proporcionales en las planicies de inundación que pueden ser modelados hidráulicamente y evaluados con herramientas informáticas”, se obtuvo una serie histórica de 41 años de precipitación máxima entre 1980-2020, durante el trabajo se determinó que la distribución de probabilidad lognormal 2P es la que mejor se ajusta de acuerdo a las técnicas utilizadas; con el diagrama y el método Smirnov - Kolmogorov, donde el valor máximo $\Delta = 0,13329$; Así, las mayores intensidades de diseño se obtuvieron mediante la metodología de Dick Peschke, la cual se utilizó para determinar la curva IDF para obtener valores de intensidad en función del tiempo, concluyendo en el trabajo que TR en 20, 50 y 100 años se obtuvieron los caudales de 135,22, 156, 8 y 17,98 m³/s, que con ayuda de la modelación hidráulica se pudo calcular las áreas de inundación en 14.683.38 m², 21,869.71 m² y 21,869.71 m².

Para mostrar caudales máximos según distribuciones de probabilidad Mamani (2021) en su trabajo de investigación plantea:

Como objetivo el estimar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales de probabilidad en la subcuenca Ayaviri Puno -2020, planteando como metodología el uso de la distribución Gumbel; Normal y Gamma (Pearson Tipo III), considerando estaciones de Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa, calculados por el método de polígonos de Thiessen, a su vez se aplicó el método *científico*, La investigación cuantitativa estimula adaptaciones para obtener la información recolectada en las etapas anteriores, completa el conocimiento, el nivel de investigación es aplicado, esta investigación propone el análisis de diseño máximo de caudales con métodos convencionales, en la subregión Ayaviri, el diseño del estudio es no experimental - correlación, obteniendo resultados, por ejemplo, un buen factor de corrección cercano a 1, también son estacionarios según Serman que oscilaron entre $t(0.025) = -1,96$ y $t(97,5) = 1,96$ concluyen que la serie de datos es estacionaria, los estimados de caudal máximo utilizando el método Mac-Math son 346.904, 376.816 y 406.727 m³/s cuando el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), en el hidrograma unitario es 353.19 m³/s, concluyendo que las estaciones mantienen correlación con la zona de estudio y no existe diferencia estadística con otros estudios, la bondad de ajuste de sus modelos estocásticos de doble masa, donde de todas las estaciones calculadas dieron 0.99 sobre 1 del R² corregido, se realizó la prueba t y la prueba de

estacionariedad de Spearman en la división de los años históricos del periodo 1963-1993 y otro de 1994-2023, donde se puede decir que los valores de las pruebas de estacionariedad de t de Spearman estuvieron entre $t_{2.5\%} = 1.96$ y $t_{97.5\%} = 1.96$, se concluye que la secuencia histórica está en su lugar, se estudió la caída de lluvias de 24 hrs de dichas estaciones, se escogieron los tiempos de retorno 50, 100 y 200 para los años los cuales fueron 43.731, 46.556 y 48.36 mm , considerando los años 1963-2023 que fueron 61 años.

Para el análisis de redes de agua Zelaya (2019) en su trabajo de investigación plantea:

Como objetivo estimar un modelo para análisis redes de agua potable utilizando demandas con un enfoque probabilístico/difuso cuya finalidad será estimar la demanda máxima, registra como metodología el uso de un modelo basado en la simulación difusa de Monte Carlo para análisis de redes de distribución del agua potable, como diseño de la investigación se aplica el modelo a un proyecto del ámbito nacional, de la siguiente manera: se revisarán las características de la población considerada en el proyecto, y la demanda considerada en el diseño se caracterizará el requerimiento del agua potable de la población en base a sus características, utilizando un enfoque probabilístico, se definirá la correlación entre demandas nodales como una variable difusa, se realizará la simulación de la red utilizando el método de análisis propuesto, se determinarán las variaciones de los principales parámetros hidráulicos de la red (velocidades, presiones y caudales), se realizará un análisis comparativo entre los resultados del análisis determinista y el análisis probabilístico para evaluar la variación entre los caudales de diseño, cuya unidad de estudio: proyectos de mejoras y mayor cobertura del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Pucusana, la población y muestra se estima que la población de diseño oscila entre 10,000 y 15,000 habitantes, para la recolección de los datos se obtendrá del expediente técnico, el cual se encuentra publicado en la web de SEDAPAL, arribando a resultados como según el análisis determinista, cerca del 95% de las tuberías conducen un caudal de menos de 5 litros por segundo. Asimismo, se muestra que el límite superior es ligeramente mayor que 51 l/s. Precisamente, el caudal de la tubería principal, P-4, es de 51.64 l/s, en lo referente a la velocidad el valor estimado al intervalo de confianza máximo está por debajo de 0.94 m/s, la velocidad máxima con el enfoque determinista es de 1.01 m/s (línea vertical verde). Puede notarse la coherencia entre ambos resultados, se generaron también las curvas de presiones para los nodos en análisis, los resultados para el nodo J-236, que es el que soporta mayores presiones, es igual a 50.12 m, y se encuentra por debajo del rango de presiones máximas esperadas

según el análisis probabilístico, puede notarse que las presiones máximas esperadas son mayores, lo que concuerda con los menores caudales requeridos en general, llegando a concluir que entre las ventajas más importantes que presenta el modelo es que permite representar la demanda considerando su naturaleza aleatoria, utilizando factores de demanda validados para la zona de estudio, se pueden optimizar los caudales resultantes del análisis hidráulico, y como consecuencia, mejorar el diseño de redes de abastecimiento de agua, asimismo, el método propuesto permite establecer niveles de confianza para el diseño, al basarse en un análisis probabilístico y possibilístico (difuso).

Para el caso de modelos hidrológicos Castilla (2019) formula en su trabajo de investigación:

Como objetivo, construir un modelo de hidrología regional de caudales medios anuales que consideren el cambio de clima global, aplicando la ecuación de Fokker-Planck-Kolmogorov, considerando la metodología como el enfoque de la investigación consiste en analizar y relacionar los modelos estocásticos del caudal medio anual, superficie de cuenca nevada y sin nevado y los parámetros de distribución que representan el comportamiento del caudal medio para el escenario de cambio climático, con el fin de generar un modelo regional y generar los caudales medios anuales en ríos adyacente a la zona de estudio, considerando la influencia del cambio climático, esta investigación se adapta a una metodología no experimental aplicada, que comprende la recopilación y análisis de datos, generación de modelos estocásticos lineales (ARIMA), determinación de área de cuenca con nevado y sin nevado, obtención de parámetros de distribución con cambio climático y regionalización de parámetros ARIMA por influencia de cambio climático, teniendo como resultados de la prueba de estacionariedad por el método de Dickey-Fuller, aplicando el software de RStudio, indica que la serie de caudal medio anual de las estaciones hidrométricas analizadas todas son estacionarias, debido a que el parámetro del modelo AR(1) es menor que la unidad, La evaluación del modelo seleccionado AR(1) de los caudales medios por año de las estaciones de Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Colcas, Los Cedros y Quitaracsa se realizaron mediante la prueba de Ljung Box, para identificar la presencia de ruido blanco en los residuos del modelo AR(1), se obtuvo un valor-p mayor a 0.05 para cada una de las estaciones analizadas, permitiendo aceptar la hipótesis nula (H_0) de que el modelo es bueno y no muestra falta de ajuste, llegando a la conclusión que el modelo ARMA (1,0) es el mejor modelo para estimar los caudales medios por año de las subcuencas Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Colcas, Los Cedros y Quitaracsa, según el criterio de

Schwarz modificado y Prueba de Ljun Box, el modelo hidrológico regional de las subcuencas analizadas presenta un valor medio de caudal medio futuro menor al caudal medio histórico, a excepción de la subcuenca Colcas que presenta un aumento del 13.9%, debido al error que genera la proyección de datos por al técnica de regresión lineal múltiple el escenario de cambio climático al año 2030 elaborado por el SENAMHI, el cual considera una disminución del 10% de precipitación para ese año, generando así una disminución aproximada del 10% del valor del caudal medio anual.

En la estimación de caudales máximos Arrieta (2019) formula en su trabajo de investigación:

Como objetivo de este trabajo es utilizar modelos probabilísticos para estimar los caudales máximos de crecida de diferentes periodos de retorno en la cuenca de interés, considerando los métodos de recolección de información cartográfica en formato Shapefile de MINEDU del Perú, cartas sobre el estudio. El área está en una escala de 1:100000 m, se recolectaron los datos hidrometeorológicos necesarios para el desarrollo de este estudio para estimar los datos máximos de precipitación y caudales, y se realizó análisis de la frecuencia máxima de eventos hidrológicos. Para el caudal máximo diario en la estación Puente Magdalena y las lluvias máximas en 24 hrs en las estaciones de la cuenca en estudio se utilizó el siguiente proceder de: elegir del máximo anual: pluviometría máxima precipitación diaria. estaciones y el caudal máximo de la estación Puente Magdalena, determinando la idoneidad de las distribuciones de frecuencias más frecuentes (distribución normal, protocolo de distribución) por el método de Kolmogorov-Smirnov. , Pearson III Distribution, Log Pearson III Distribution y Gumbel Distribution) para obtener la distribución que bien se ajusta a los datos históricos, proporcionando datos únicos de lluvia máxima de 24 horas para Lachaqui, Canta, Huamantanga, Huaros y Carampoma, sometidos al análisis de datos sospechosos, el análisis estadístico se realizó utilizando distribuciones normales, distribuciones Gumbel, Log Normal, Pearson III y LogPearson Tipo III, se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov y se determinaron las distribuciones de buen ajuste, la distribución log-Normal más cercana, que se determinó que la superficie de la cuenca hidrográfica es de 1339, 9 km² y la circunferencia de 282,83 km con un factor de forma de $F = 0,16$; Por lo tanto, se llega a la conclusión de que es una cuenca inmensa y alargada, y se encontró que las lluvias de las estaciones pluviométricas de Canta, Lachaqui, Huaros y Huamantanga coinciden con la curva de distribución LogNormal, LogPearson III, LogNormal y Pearson III.

Para el análisis de precipitaciones máximas diarias y caudales máximos Carmona (2020) formula en el trabajo de investigación presentado:

En su objetivo principal es producir las mayores precipitaciones diarias y las mayores crecidas en el río Biabo durante diferentes periodos de recuperación, lo cual es un método de investigación cuantitativa, ya que los fenómenos están diseñados para medir datos específicos como el caudal. y la lluvia y su posible impacto en la cuenca, este es un diseño no experimental porque se trabaja con los datos ya recopilados como los datos de meteorología de SENAMHI para lograr los resultados y aplicando las fórmulas de diferentes investigadores y finalmente es de corte transversal porque los caudales en distintos tiempos de retorno son diferentes para cada cuenca y no cambian con el tiempo. Principalmente se utilizó la herramienta Arc hidráulica de Arcgis 10.5 para encontrar las áreas necesarias para obtener los tiempos de retorno para cada cuenca analizada y sus porcentajes con relación a toda la cuenca, si los resultados se obtienen como caudal principal, entonces es un caudal que pasa por la cuenca ya antes de la inundación, el caudal se estimó en 207,53 m³/s, Para determinar los valores máximos regionales se estimó la precipitación total del área de interés, obtenida a partir de 93 puntos de datos de cuadrícula y datos del polígono de Thiessen utilizando registros máximos y para cada año, multiplicada por un factor de 1,20 para convertir caudales máximos del día a caudales máximos momentáneos, este factor se obtiene luego de aplicar la fórmula de Fuller, que depende de la superficie de la cuenca del campo, evaluando los caudales instantáneos más altos en los años 1993 a 2017, de todas las técnicas utilizadas, la curva gamma de 3 parámetros fue el mejor ajuste, porque el delta teórico 0,1107, que es un delta más pequeño en comparación con todos los métodos evaluados, resulta ser un valor menor que el delta de tabla 0,2267 para el nivel de confianza del 95%, para concluir que las lluvias máximas diarias y los caudales máximos del cauce de los 16 puntos del control de río Biabo durante diferentes periodos de retorno ayudarán a mejorar y fortalecer las medidas de protección de las hidroestructuras en el cauce del río, ya que esta información puede ser utilizada para determinar lo correcto para obras futuras o modificar el tamaño de las obras existentes en la cuenca del Biabo, especialmente en el lugar bajo de la cuenca, que es un área influenciada por las inundaciones de lluvia.

Como bases teóricas se tiene a Mejía (2012) que escribe sobre las distribuciones de probabilidad manifestando que:

Los métodos probabilísticos convencionales que se usan para el análisis de frecuencias, Estos métodos se pueden utilizar para calcular o estimar la lluvia o los

caudales máximos en distintos períodos de retorno que pueden consignar para valores enteros o reales. En la estadística se usan otros métodos y funciones teóricas de distribuciones de probabilidad que utilizan técnicas matemáticas apropiadas para determinarlas; las funciones de distribución de probabilidad utilizadas en este estudio son: distribución de probabilidad de Gumbel, distribución de probabilidad de la Normal o Gaussiana y distribución de probabilidad Gamma (Pearson Tipo III), distribución de probabilidad de Gumbel, esta distribución tiene en cuenta de datos de valor extremo, como también llamada valor extremo tipo I, Fisher tipo I, también se denomina distribución exponencial doble (p.8).

La función acumulativa de la distribución exponencial doble según MTC (2012) se formula de la siguiente manera: “Su función de distribución acumulativa es de la forma:

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

donde: $-\infty < x < \infty$

Para:

$0 < \alpha < \infty$, estimado de la escala.

$-\infty < \beta < \infty$, parámetro de posición, llamado valor central o moda” (p.30).

Su función de densidad según Chow *et al.* (1994):

Se ejecuta derivando su función de distribución acumulativa, ecuación (1), respecto a x, luego se reporta la función de densidad de probabilidad esto es:

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

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (3)$$

Donde: $-\infty < x < \infty$

Su variable aleatoria minimizada Gumbel, se opta como:

$$y = \alpha(x - \beta) \quad (4)$$

De la cual, la función de densidad minimizada Gumbel es:

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

La función acumulada minimizada Gumbel es:

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

Los valores que corresponden a x e y, aparentemente relacionados por:

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

y la función:

$$y = \alpha(x - \beta) \quad (8)$$

ó

$$x = \beta + \frac{y}{\alpha} \quad (9)$$

Para el cálculo de parámetros haciendo uso del método de momentos, se obtiene las ecuaciones:

Media:

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

Por lo que c, es la constante de Euler, cuyo cálculo 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.

$$\bar{X} = \beta + \frac{0.5772156649}{\alpha} \quad (12)$$

Variancia:

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

De la cual se reporta:

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

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

Para estimar los parámetros, se trabaja utilizando el método de máxima verosimilitud, luego obtener a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{1}{\alpha} \ln \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n e^{(-\alpha x_i)}} \right] \quad (16)$$

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

Donde:

α y β son parámetros

n = muestra de datos.

x_i = éximo dato

α Se estima a partir de iteraciones o aproximaciones de la ecuación (17) y se reemplaza en la ecuación (16).

La función de probabilidad Normal o Gaussiana, se registra como:

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

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

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

Donde:

$f(x)$ = función de densidad.

μ = media de datos registrados.

σ = variabilidad típica de datos registrados.

X = variable de hidrología registrado.

X_i = i-ésima variable de hidrología.

e = Base de logaritmos neperianos (Ln).

Para determinar la distribución de Pearson Tipo III; se trabaja determinando desde la función de densidad, utilizando variable aleatoria que tiene una distribución Gamma de 2 parámetros o distribución Pearson Tipo III, la función densidad de probabilidad se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta_1)} \left(\frac{x - \delta}{\alpha} \right)^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{(x - \delta)}{\alpha}} \quad (21)$$

Para:

$$\delta \leq x < \infty$$

$$-\infty < \delta < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$0 < \beta_1 < \infty$$

Su función acumulada de la distribución de probabilidad Pearson tipo III o gamma de 3 parámetros se determina a través de la siguiente función:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\frac{(x - \delta)}{\alpha}} * \left(\frac{x - \delta}{\alpha} \right)^{\beta_1 - 1} dx \quad (22)$$

Donde se denota:

x = Variable aleatoria de Pearson tipo III.

δ = Origen de variable x , estimado de posición.

α = Parámetro de escala

β_1 = Parámetro de forma

$\Gamma(\beta_1)$ = Función Gamma en forma completa.

La variable minimizada de Pearson Tipo III, es:

$$y = \frac{x - \delta}{\alpha} \quad (23)$$

La función acumulada de Pearson Tipo III minimizada es:

$$F(y) = \int_0^y \frac{y^{\beta_1-1} e^{-y}}{\Gamma(\beta_1)} dy \quad (24)$$

Como parámetro β_1 , dicha variable aleatoria tienen origen en $y=0$ o $x=\delta$.

En la determinación de los parámetros, por la técnica de momentos, utilizando las mismas técnicas, se calcula a partir de las ecuaciones teniendo en cuenta el promedio, variancia y sesgo:

Promedio:

$$\bar{X} = \delta + \alpha * \beta_1 \quad (25)$$

Variancia:

$$S^2 = \alpha^2 * \beta_1 \quad (26)$$

Sesgo:

$$C_s = g = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \quad (27)$$

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

$$\beta_1 = \frac{4}{C_s^2} \quad (28)$$

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

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

Para calcular C_s , para datos de la muestra se utiliza ecuaciones como:

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

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 importante: Si $C_s < 0$ de la ecuación (29) en estos modelos se utilizan para calcular el registro de lluvia máxima de 24 horas, así como estimar la lluvia máxima proyectada y su distribución probable durante diferentes periodos de retorno. (p.20)

Según Llamas (1994) conceptualiza a los caudales máximos de diseño como:

Las características geomorfológicas determinan: área de captación, forma, pendiente y altura, cultivo y cobertura, topografía geológica, frecuencia de escurrimiento y longitud de la fuente. Los diseños están hechos para obtener registros máximos, es decir. no se supera un determinado caso, con un determinado rango de retorno, por lo que se buscan modelos para rangos de retorno, esto es, los valores de $F(x)$ se calculan en un determinado periodo de retorno utilizando la ecuación.

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

Para tener en cuenta el rango de retorno se usa la ecuación (36) para visualizar las recurrencias, se muestra del siguiente modo:

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

Donde:

M = valor de orden

N = total de datos" (p.15)

En el marco conceptual se refiere tomando en cuenta las siguientes definiciones:

La cuenca hidrográfica mencionada por Melesse (2019) que: "es la red de drenaje de un área geográfica, es un área territorial donde las aguas se vienen bajo la influencia de la lluvia, donde sus aguas fluyen a un punto común de arriba a abajo" (p,15)

Para el estudio de precipitaciones y otro fenómeno natural, escribe Singh (2017) que:

La precipitación es un valor importante e información del ciclo hidrológico, así como la temperatura; son los elementos del clima de mayor influencia del entorno natural y el medio ambiental, los datos estimados afectan en forma directa a la distribución de las especies de plantas y los animales, la actividad humana afecta principalmente a la tierra, los bosques y la actividad económica, la lluvia es un fenómeno aleatorio natural, describe el traspaso de agua en fase líquida y en el estado sólido entre la atmósfera y la tierra. La lluvia con la irradiación del sol provoca evaporación en dicha cuenca y lo demás es aporte superficial o subterráneo (p.23).

Sobre las máximas avenidas el MTC (2012) indica que:

Es necesario el análisis de avenidas máximas principalmente en la planificación de obras hidráulicas, cuando se conoce la probabilidad de ocurrencia de diversos eventos, la cual se calcula principalmente en base a la pluviometría de 24 horas y la planificación hidrológica. Al diseñar estructuras hidráulicas, se deben establecer factores de seguridad, además la estructura debe diseñarse para manejar el evento extremo más grande posible (p.42)

En el estudio de periodos de retorno y la inversión según Fattorelli y Fernández (2011) enfatizan que:

Debe justificar su construcción en términos de tiempos de recuperación esperados, donde se debe obtener un nivel aceptable de fianza basado en el daño que puede causar su falla. Por lo tanto, los estudios hidrológicos se preocupan por la seguridad y la economía, por lo que el riesgo calculado o riesgo de falla cede más adelante. La planificación hidrológica sigue la probabilidad de un evento, y en este caso debe evaluarse utilizando métodos estadísticos que justifiquen dicho estudio, como el análisis de frecuencia (p.43).

En la relación de precipitación y escorrentía afirma Chua (2017) que:

La relación lluvia-escorrentía es un cálculo de un evento llamado inundación máxima, también conocido como aumento rápido en el nivel del agua del curso, teniendo en cuenta la profundidad normal máxima que desciende río abajo a un ritmo más bajo durante el curso (p. 23).

Respecto al tiempo medio, Tucci (2012) menciona que: “es el tiempo medio en los años entre hechos o hechos iguales o superiores a un determinado rango, a este tiempo medio se le conoce como tiempo de retorno o periodo de retorno” (p.34).

Sobre el hidrograma unitario Mejía (2012) afirma que:

Un hidrograma unitario se convierte en la escorrentía superficial imaginaria, que muestra el flujo de escorrentía unitaria uniforme desde la cuenca a través de la cuenca; la cantidad de precipitación se convierte en escorrentía o también se denomina flujo superficial por unidad de volumen (p.31).

Por su parte para los estudios de los distintos fenómenos hidrológicos Villón (2004) afirma que:

Un coeficiente de escorrentía se influencia de varios factores, como la precipitación, humedad inicial de los suelos, granularidad, la composición, la estructura, la materia orgánica, el grado de compactación y el grado de la pendiente. La precipitación se ve afectada por el hecho de que se influencia de la intensidad, cantidad y distribución en el tiempo; Sin embargo, se establece la fracción de agua que llega al canal de evacuación respecto a la cantidad total de precipitación. El coeficiente de fuga es adimensional y se indica con la letra C (p.35).

$$C = \frac{\text{Valor de escorrentía superficial total}}{\text{Valor de precipitación total}} \quad (37)$$

El índice C se influencia de los aspectos topográficos, edafológicos, sistema vegetal y otros.

Los sucesos extremos lo describen Uitto y Shaw (2016) como:

El impacto de los eventos en extremo en habilidades y datos de personas afectadas se influencia de su vulnerabilidad, la cual depende de su exposición y sensibilidad a estos eventos y de la forma de adaptarse para reducir el riesgo. Este riesgo de la inundación relacionado al cambio del clima es en forma progresiva. En otras palabras, las estrategias actuales deben evaluarse para analizar si aún son las indicadas, si es necesario fortalecerlas o si necesita un enfoque completamente novedoso (p.47).

En cuanto a los extremos climáticos, Schleussner y Guillod (2020) así lo confirman en su investigación:

Estos incluyen diferentes patrones meteorológicos que exceden el intervalo normal del sistema climático y tienen diferentes características de exposición, de frecuencia y la intensidad (rango de efectos físicos), la variabilidad de los valores físicos (como la temperatura, la precipitación, la velocidad del viento y volumen de agua), espacial y escalas temporales (lluvias intensas a corto plazo, lugares inundados y deslizamientos de tierra, lluvias persistentes, grandes sequías y ocurrencias de calor en inmensas áreas). Es esencial establecer los esfuerzos de adaptabilidad para analizar las técnicas de reducción de desastres en relación con los cambios en los riesgos actuales y futuros peligros causados por el cambio climático (p.39).

En estudios de los procesos hidrológicos Jain y Shain (2019) confirman que son:

En procesos de hidrología, la hidrología es la ciencia del agua y está íntimamente relacionada con las ciencias naturales; examina los estados líquido, gaseoso y sólido.

Nos demuestra que en la hidrología se investiga la nieve y glaciares. Se orienta por la calidad como por su cantidad que son diferentes en los lugares y el tiempo, por ende la hidrología estudia la distribución del agua. Esto también deduce: 1) La cantidad de agua sobre y debajo de la corteza de la tierra, su apariencia, circulación y distribución y 2) los eventos que controlan la ausencia y recuperación de los recursos hídricos subterráneos de la Tierra en sus diversas etapas del ciclo

hidrológico. De manera similar, la circulación del agua en la atmósfera o en la superficie del océano que tiene un papel importante en la determinación de la corteza terrestre, que crea patrones de los vegetales y controla los eventos atmosféricos. El ciclo hidrológico puede analizarse como una máquina natural (Figura 1), un sistema de operación de forma continua, destilado y bombeado. Un grupo de ciclos naturales en los que una gran cantidad de materia se mueve constantemente a través de la Tierra, incluido el ciclo hidrológico, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno y varios ciclos biogeoquímicos. El ciclo del agua, es la circulación del agua, que contiene cambios en su estado físico del agua entre los estados líquido, sólido y gaseoso. En este ciclo se verifica el intercambio constante de agua entre la atmósfera, la tierra (se incluye aguas superficiales y dentro de la tierra), los océanos, los mares y los organismos de la naturaleza (p.54).



Figura N° 1: Diagrama esquemática del ciclo del agua

Por otra parte, en el estudio de la disponibilidad y calidad de agua Khan (2015) indica que:

Toda investigación sobre el agua está relacionada con alguna parte del ciclo hidrológico. En la disposición y calidad de agua están ligadas en bastantes lugares al crecimiento demográfico de las poblaciones humanas, así como la actividad humana cambia y modifica las características del ciclo hidrológico. Los estudios hidrológicos sirven para muchos propósitos importantes; calcular el volumen de captación, simular la respuesta de la captación a las cuencas hidrográficas, confirmar los datos observados y predecir inundaciones. Los modelos son adecuados para tareas diferentes. El estudio ayuda en tomar una decisión,

especialmente cuando el entendimiento del sistema es incompleta, falta información o hay muchas posibilidades y no es posible entablar con un sistema de vida real para entender las consecuencias de una decisión. Las plantillas son importantes en estos casos (p.33).

En la Figura 2 se tiene un modelo que simula un sistema real con entradas reales para reproducir un resultado:

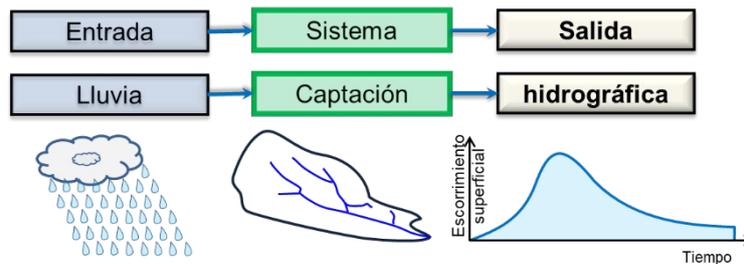


Figura N° 2: Muestra de un sistema con entrada y salida de un modelo hidrológico

Los modelos hidrológicos en su investigación muestran que Haan et al:

Se clasifican de varias maneras. Algunos de los términos utilizados para clasificar los estados son determinista, con parámetros, con estadística, estocástico, de base física, empírico, de prueba beta, acoplado, lineal, no lineal, con distribución, teoría, predictivo, con función, exploratorio, de diseño, similar, analógico, numérico, regresión, evento, simulación continua y de concepto (p.56).

Para examinar patrones en estudios hidrológicos, Baghdadi y Zribi (2016) muestran que:

Los estudios o modelos se usan para una diversidad de estudios en hidrología, el más conocido es evaluar el efecto de algunos cambios físicos en la cuenca sobre la hidrología de la cuenca bajo consideración. Estos estudios son importantes para decidir y modelar los efectos de los procesos en hidrología y los eventos antropogénicos actuales, como cambios de uso del suelo, la tala y deforestación, incluso el incremento de la temperatura en los ciclos del agua. Los modelos hidrológicos distribuidos; se desarrollaron como modelos hidrológicos basados en las necesidades de la comunidad en hidrología de diferentes momentos; responder a los desafíos más complejos de la evaluación y gestión de los recursos hídricos

debido al aumento de la demanda y la reducción de los recursos hídricos, encontrar mejores proyecciones para protegerse de las catástrofes relacionados con el agua, entender mejor los efectos de algunos cambios en su uso y la cobertura de la tierra en las actividades hidrológicas, y abordar la desafíos de aumentar la contaminación de los cuerpos de agua/recursos hídricos y resolver el cambio climático (p.49)

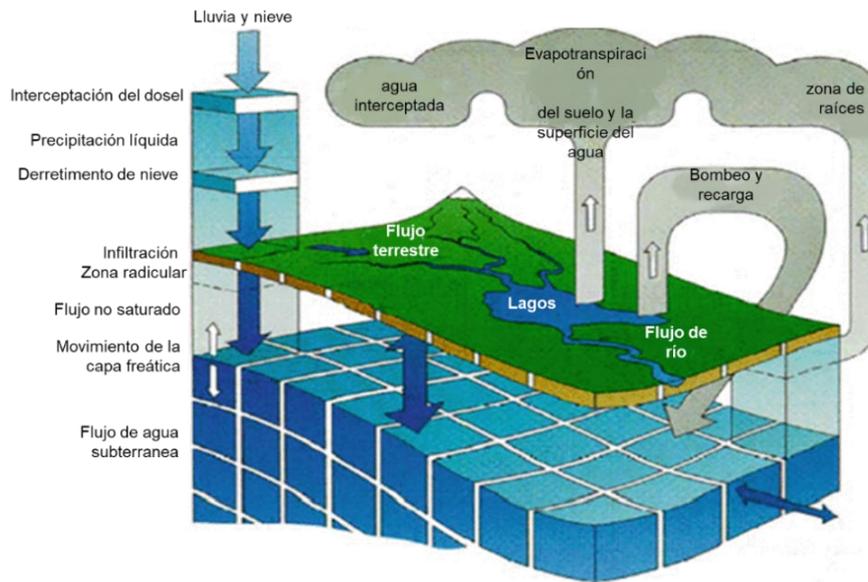


Figura N° 3: Representación de una cuenca con modelo distribuido en tridimensional

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

En cuanto al tipo y diseño de un estudio de investigación, Hernández et al.(2018) afirman que:

Un tipo y diseño del trabajo de investigación, menciona a varios tipos de trabajo de investigación; mirando la forma, el estilo y el acceso desde una perspectiva semántica a la adquisición de grupos de información. El proyecto de investigación es una estructura aplicada y tipo no experimental, durante la cual el investigador analiza los fenómenos en su forma natural, sin obstaculizar su desarrollo, la investigación cuantitativa estimula ajustes para obtener información recopilada en las etapas anteriores, para completar la información (p.56).

Por su parte Arias (2012) indica en su trabajo con respecto al método científico como:

Los eventos naturales son lógicos y en su mayoría repetibles. Además, se puede utilizar para comprobar si a la investigación o a la hipótesis de investigación se le ha dado el valor de ley. Durante la encuesta se utilizan técnicas y herramientas para realizar la encuesta, ya que la encuesta se realiza para dar respuesta al problema planteado, de igual forma la metodología del proyecto comprende un procedimiento lógicamente formulado, la metodología consta de un conjunto de procesos para lograr Todos los métodos nos ayudan a probar la hipótesis, técnicas y herramientas utilizadas en la investigación. Se realiza la investigación para dar respuesta al problema presentado (p.37).

En el estudio de investigación Fresno (2019) resalta la utilidad del manejo de datos para formular las hipótesis y señala que:

La recopilación de datos se utiliza para comprobar hipótesis basadas en medir en forma numérica y analizar con la estadística, una vez que se obtienen los datos, se crean modelos de comportamiento y se prueban teorías. Finalmente, un experimento analiza asociaciones puras entre variables de interés sin contaminación de otras variables, después de lo cual se determinan aún más las relaciones causales (p.35)..

La presente investigación se muestra como el de tipo cuantitativo porque como menciona Dominguez et al (2018):

Tiene como objetivo recopilar información teniendo en cuenta los conocimientos teóricos y prácticos aprendidos durante la carrera; emprender acciones directas en resolver los problemas que se investigan. La metodología cuantitativa consiste en un conjunto de técnicas que pueden utilizarse para acercarse a una población y estimar sus características, discusiones, referencias o demandas (p.67).

3.2 Variables y operacionalización

En este trabajo se considera como variable dependiente: métodos convencionales de distribución probabilística.

Los métodos convencionales como indica Singh (2017) en su trabajo de investigación lo siguiente: “se utiliza para estimar tanto la precipitación como el caudal, también conocido como cantidad de agua, también conocido como volumen de agua, medido por unidad de tiempo” (p.35).

Se utilizan métodos tradicionales con cierta dimensión: la distribución de probabilidad Gumbel, log Normal y Gamma (Pearson Tipo III), que son técnicas de cálculo; cada dimensión se divide además en parámetros así como: parámetros de forma, parámetros de ubicación y parámetros de escala.

Así mismo se toma como variable independiente: los caudales máximos de diseño.

Como plantea Chow *et al.* (1994) en su trabajo de investigación que:

La exploración de la cuenca está limitada por las cabeceras y los puntos más altos conocidos como cuencas hidrográficas. Entre sus características geomorfológicas se analizan el área, longitud y circunferencia, pendiente de la cuenca, entre otras; La precipitación total de 24 horas registrada para el evento es registrada por una estación meteorológica, se calculan los valores máximos mensuales y la serie histórica de montos máximos mensuales. El tiempo de retorno (TR) es una estimación de la probabilidad de que ocurra un determinado evento durante un tiempo determinado, también es el tiempo en el que la probabilidad del evento se distribuye equitativamente entre los períodos que componen ese tiempo. Esto también se llama el período de recurrencia. Los caudales máximos del proyecto son operados por las dimensiones de las características geomorfológicas, que se convierten en métodos de cálculo; estos a su vez se dividen en indicadores como área, pendiente y frecuencia de drenaje. Además, los caudales de diseño más altos

están impulsados por la lluvia de 2 horas, que son métodos de cálculo; estos, a la vez, se dividen en indicadores como alto, medio y bajo. Finalmente, los caudales máximos de diseño se implementan a través de la dimensión del tiempo de retorno, que son técnicas de cálculo; estos a su vez se dividen en indicadores como 2, 10, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno (p.67).

3.3 Población, muestra y muestreo

Para el estudio de la investigación aplicada en el trabajo realizado por Arias (2012) indica que:

En un estudio o investigación aplicada se prioriza el estudio de un problema para la acción y aporta nuevos hechos. Por tanto, el nivel de investigación es aplicado; Está destinado a corregir un problema existente. Además, este estudio se basa en el análisis de caudales máximos en el diseño de la cuenca de llave utilizando métodos tradicionales. El diseño del estudio es el del tipo no experimental - correlacional. Una población es un conjunto de todos los elementos sobre los que se quiere conocer o estudiar, considerándolo como una o varias características destinadas al estudio o necesarias para el estudio (p.56).

Con lo anticipado, con el grupo de los datos de caudales de las estaciones que se encuentran en la cuenca de llave indica Arias (2012) en su trabajo de investigación que:

Una muestra es una parte o subconjunto representativo del universo o población a estudiar o realizar un estudio; En este apartado se describe la población y sus características, el tamaño de la muestra y método de selección, teniendo en cuenta el tipo de muestreo, asegurando la homogeneidad con las pruebas necesarias para su correcta utilización durante el estudio para los análisis correspondientes (p.68).

Para el estudio de las poblaciones y muestras en los trabajos de investigación Wood y Smith (2017) definen:

En las implicaciones del estudio, se trabajó con estaciones pluviométricas, teniendo en cuenta la lluvia máxima de 24 horas, y luego convertirla en escorrentía o caudal máximo para el diseño de obras hidrotécnicas en la cuenca del río llave utilizando métodos tradicionales de cálculo probabilístico, el muestreo es una decisión muy importante. En la práctica, este elemento recopila datos de manera representativa cuando se muestrean datos. Se utiliza cuando la población es relativamente grande para incluir todas las variables necesarias para el estudio. En este estudio se prueba

la no probabilidad de flujos pico, ya que se evalúa para diferentes tiempos de retorno. En la definición de variables y su funcionamiento, la variable dependiente es la distribución de probabilidad habitual y la variable independiente son los caudales máximos calculados del río llave según el Anexo 2. En cuanto a la validez y confiabilidad de las técnicas e instrumentos de recolección de datos, las técnicas de recolección de datos en Arias (2012) son medios de obtención de datos para el estudio, considerando la observación directa, el interrogatorio oral y escrito, la entrevista, p. , las herramientas, según Data Instrument, son materiales utilizados para recopilar, recopilar y almacenar información durante la investigación, de los cuales, p. Archivos, cuestionarios, entrevista guiada, lista de cotejo, grabadora de audio, cámara, cámara de video, tablas de Excel y sistemas de información geográfica se utilizan como herramientas de trabajo que posibilitan los cálculos y georreferenciación de los mapas necesarios durante el estudio, la validez se enfoca en cuanto a los métodos. puede considerarse confiable y precisa. el contexto de investigación en el que se utilizan se analiza en la declaración dada en la investigación y se relaciona con los métodos de investigación utilizados; la validez se entendía de manera diferente según la relación entre las reivindicaciones de patente y los métodos, la validez se refiere a tres dimensiones principales: estructura de la prueba (calcula las dimensiones que pretende evaluar), contenido (indica si las preguntas del instrumento propone lo que pretende medir) y criterio (indica la correlación entre la prueba). el resultado de las pruebas completadas). Las técnicas pueden proponer cuatro tipos de validez: de contenido, predictiva, concurrente y de constructo, en el análisis de validez que enfocó este estudio y evaluado por tres ingenieros experimentados, se evaluó de acuerdo a las metodologías y dimensiones definidas en la publicación. presentar un estudio para cada objetivo de cada revisión de estudio con una puntuación de 0-1; Al final se evalúan los tres análisis y finalmente se realiza un promedio simple (p.78).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 1 se consideran parámetros de validez para nuestro estudio.

Tabla N° 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 validez
1.00	Validez perfecta

Fuente: Oseda *et al.* (2015)

Para validar las variables planteadas en la estimación de los caudales máximos de diseño mediante técnicas convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022, se tuvo la evaluación por pares mostrados en la Tabla 2.

Tabla N° 2: Validez de contenido de las variables

N°	Título profesional	Apellidos y nombres	DNI	CIP	Dictamen	Evaluación
1	Ingeniero Civil	Deza Ramos, Darwin	42477401	128272	0.954	0.933
2	Ingeniero Civil	Coyla Idme, Leonel	02146851	46961	0.927	
3	Ingeniero Civil	Quispe Quea, Juan Pablo	01345604	87217	0.919	

Para lo cual, el instrumento guiado por los parámetros de validez que considera la Tabla 1. Para la confiabilidad en el estudio realizado es confiable y según Hernández *et al* (2014):

Se encomienda calcular y analizar todos los datos recopilados. Además, debe mencionarse correctamente. Para otros autores, aconsejan cautela al digitalizar los datos, lo que asegura una buena precisión en el uso y procesamiento del software para realizar el cálculo de caudales máximos de diseño en la cuenca del llave utilizando métodos convencionales de cálculo de probabilidad; para que podamos solucionar la realidad problemática presentada. La confianza se define como aquello a lo que se refiere, consiste en cuán consistentes son los datos cuando se recopilan datos para la investigación, la prueba de confiabilidad ayuda a garantizar que los

resultados se utilicen en múltiples aplicaciones e interpretaciones. varias formas de medir la confiabilidad con puntajes entre 0 y 1: el coeficiente alfa de Cronbach, la medida de estabilidad, el método dividido y el coeficiente KR-20 de Kuder, que es similar al coeficiente alfa pero se puede usar cuando la variable es dicotómica (p.87).

3.5 Método de análisis de datos

La estadística descriptiva se utilizó como técnica de análisis de los datos para calcular la estimación de máxima verosimilitud de los flujos. El proceso de información se realizó utilizando Microsoft Excel, se utilizaron programas orientados a la hidrología para comparar los resultados: ej. HidrosEsta, HyFran Plus, ArcGIS; Para generar la caracterización geomorfológica, se identificaron estaciones meteorológicas e hidrométricas existentes para recolectar datos de precipitación y algunas características de la cuenca. Se apoya en un sistema de información geográfica (SIG) durante el evento de caracterización. Además, se utilizó el software HEC HMS para determinar las cantidades máximas de lluvia.

3.6 Procedimientos

La adquisición de los datos de precipitación máxima diaria de la cuenca del llave se realiza con el permiso para utilizar los datos transmitidos a través de la red SENAMHI-Puno (en los años 196 -2010) y completar los datos en la búsqueda hasta el 2021. llave a los responsables para la estación meteorológica A su vez, visitamos a expertos en hidrología y drenaje (ingenieros civiles, topógrafos y agrónomos de la región de Puno). Expertos en hidrología con experiencia en el uso de software GeoHMS y HechMS para estimar caudales máximos se utilizaron para analizar y procesar datos de imágenes de satélite

3.7 Aspectos éticos

En estos aspectos éticos, se trata como un trabajo de investigación que cumple con los principios de veracidad y autenticidad del contenido de los capítulos, teniendo en cuenta las referencias en la redacción de teorías, conceptos y que se detalle la referencia bibliográfica confirmada por la universidad, fue publicado, registra título, autor, año, número de página y sigue el estilo ISO-690.

IV. RESULTADOS

Descripción de la zona de estudio

Nombre de la tesis

Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022

Ubicación política

La presente investigación se realizó en el distrito de llave, provincia de El Collao en la Región de Puno - Perú.

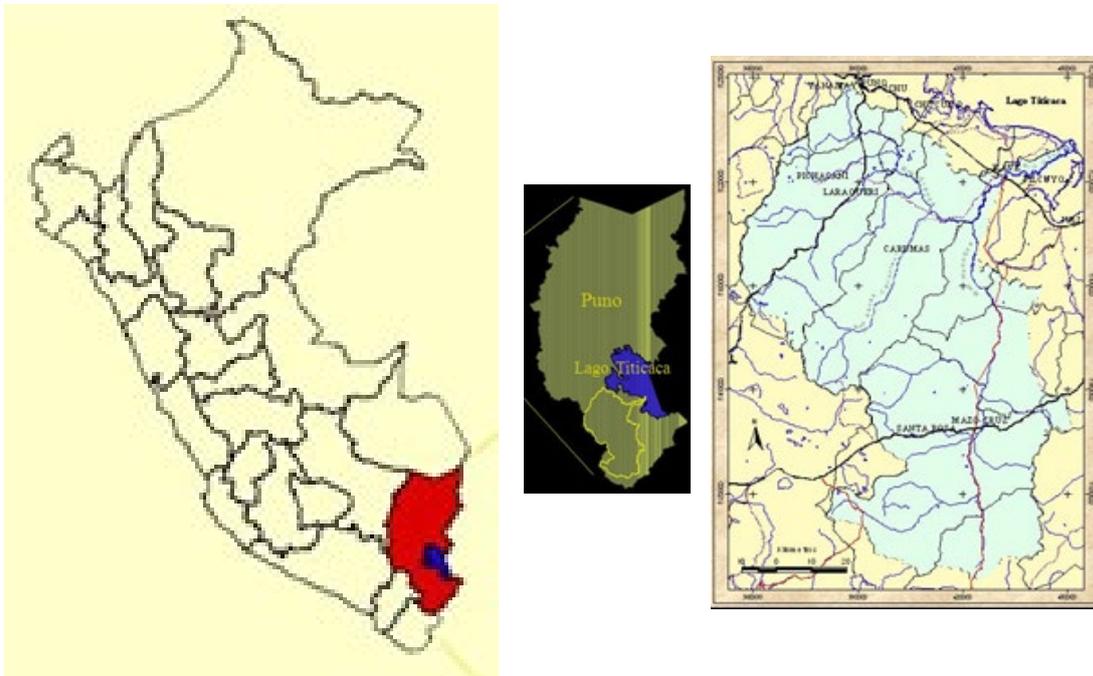


Figura N° 4: Mapa político del Perú, de la Región de Puno y la cuenca del rio llave

Limites

- Norte : Con la provincia de Puno.
- Sur : Con la provincia de Chucuito.
- Este : Con el lago Titicaca.
- Oeste : Con la región de Moquegua.

Características morfológicas de la cuenca del río llave

La superficie total de la cuenca del río llave es de 7,832.53 Km².

Tabla N° 3: Características fisiográficas de la cuenca del río llave

Perímetro de la cuenca	631.97 Km.
Cota máxima de la cuenca	5,400.00 msnm
Cota mínima de la cuenca	3,805.00 msnm
Altitud media de la cuenca	4,309.31 msnm.
Pendiente media de la cuenca	0.0055 m/m
Índice de pendiente de la cuenca	0.0654
Cota máxima del cauce principal	4,640.00 msnm.
Cota mínima del cauce principal	3,805.00 msnm.
Altitud media del cauce principal	4,222.50 msnm
Pendiente media del cauce principal	0.0040 m/m
Longitud del cauce principal	211.00 Km

Ubicación geográfica

En el sistema de coordenadas UTM WGS84, Zona 19 sur, se localiza entre las coordenadas: Este: 352,353 – 452,052 y Norte: 8'104,770 – 8'248,751.

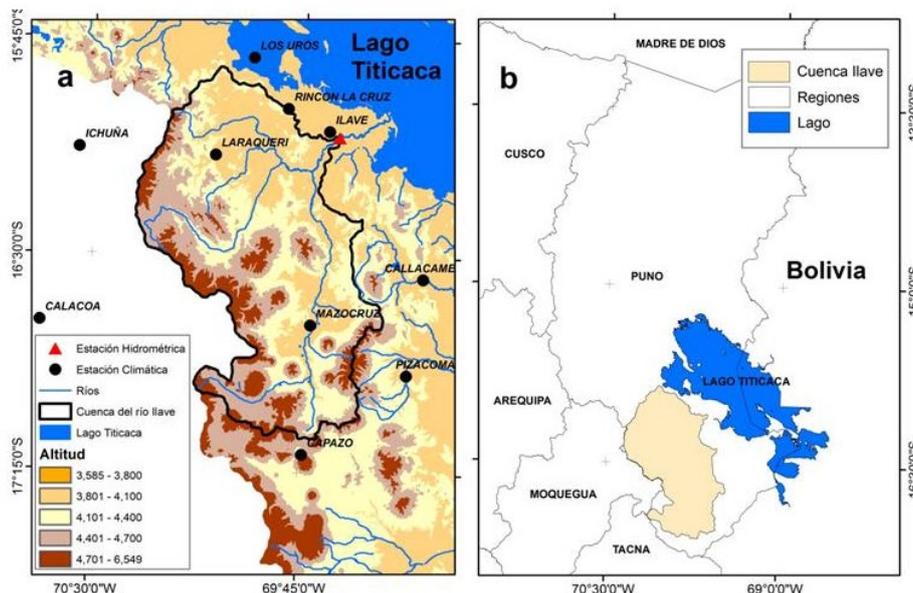


Figura N° 5: Ubicación geográfica de la cuenca del río llave

En la Figura 5 se muestra la forma de la cuenca de llave en la provincia de El Collao, afluente principal del lago Titicaca de la región de Puno – Perú con un

área aproximada de 7,832.53 Km²



Figura N° 6: El rio llave, antes del cruce a la ciudad de llave

En la Figura 6 se muestra una vista panorámica del rio llave cercano a la ciudad de llave de la provincia de El Collao de la región de Puno – Perú. La estación pluviométrica de llave se encuentra a mitad de la imagen mostrada. El momento de tomar la imagen es en la estación de otoño (mes de agosto 2022) donde existe escasez de precipitaciones pluviales.

Tabla N° 4: Precipitaciones máximas en mm/día/anual de la cuenca llave 1964-1958

años	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
precipMax (mm/día/anual)	17.81	20.5	20.6	21.16	21.5	23	23.2	24.5	25.8	26.1	26.2	27	27.4	27.6	27.91
años	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
precipMax (mm/día/anual)	28.2	28.6	28.7	28.8	29	29.1	29.1	29.1	29.3	30.1	30.4	30.5	30.7	30.72	30.8
años	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
precipMax (mm/día/anual)	32.2	32.52	32.7	33	33.2	33.3	33.4	33.6	34	34	34.2	35.9	36	36.1	36.2
años	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
precipMax (mm/día/anual)	36.8	36.9	37	38.1	39.5	39.7	40.2	40.5	41	43.7	44	45	46		

Fuente: SENAMHI – Puno, elaboración del investigador

En la Tabla 4 se muestra los registros de precipitaciones máximas diarias de 24 horas de cada año, cuya unidad de medida es en milímetros (mm), facilitados por la estación pluviométrica de SENAMHI – Puno, desde el año 1964 al año

2021, un total de 58 años. De estos años registrados, en 1964 se tuvo la más baja precipitación, como es el de **17.81mm**, mientras que en el año de 2021 se tuvo la más alta precipitación de **46.00mm**. Cabe indicar que entre los años de 1977 a 1980 no se registraron las precipitaciones a nivel de la región de Puno, por lo que se han estimado los valores para estos años a través de modelamiento matemático lineal simple de entre los años anteriores.

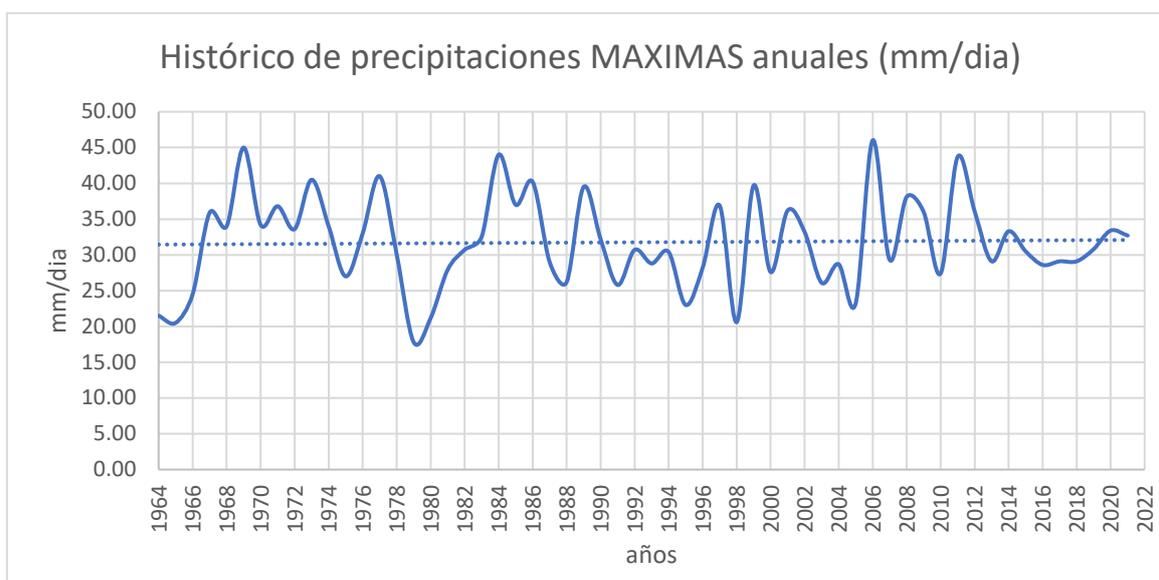


Figura N° 7: Histórico de precipitaciones máximas anuales (mm/día) - llave

En la Figura 7 se muestra el histórico de precipitaciones máximas anuales en mm, notándose una tendencia regular con estacionariedad relativa. A través de los años las precipitaciones se denotan con altibajos, así por ejemplo de los años 1968 al año 1972 se registran por encima del promedio de 31.76mm, entre los años 1980 a 1986 hubo fuertes precipitaciones en la cuenca del río llave que superan los 40mm, entre los años 1990 a 1996 hubo escasez de precipitaciones, En el 2006 se denota fuerte precipitación. En suma, entre 10 a 12 años se registran precipitaciones bastante parecidas en la cuenca del río llave.

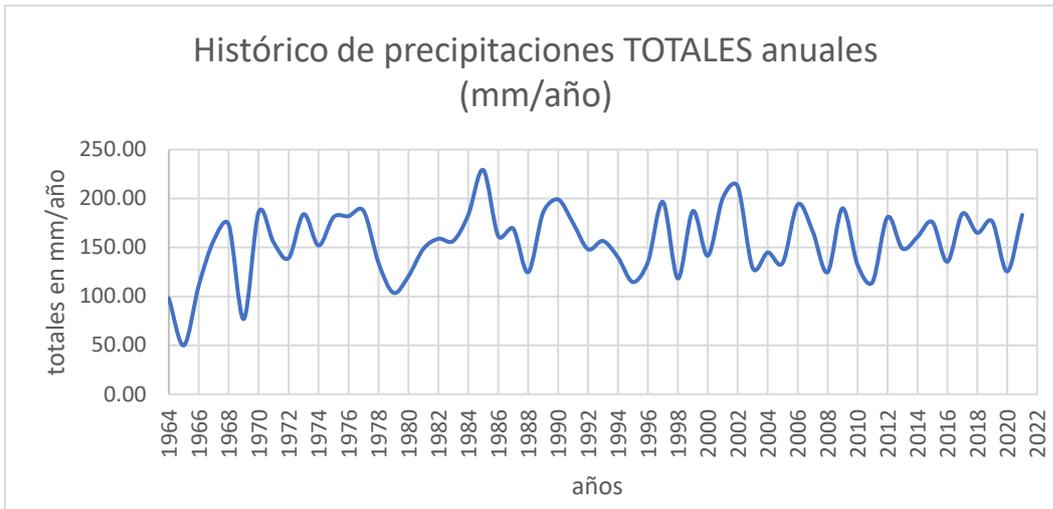


Figura N° 8: Histórico de precipitaciones totales anuales (mm/año) - Ilave

En la Figura 8 se muestra el histórico de precipitaciones totales anuales en mm, notándose una tendencia regular con tendencia regular lineal. En la gráfica se aprecia los acumulados anuales, en el que destaca el año 1986 donde hubo ciertas inundaciones en toda la región de Puno, en el año de 2002 hubo ciertas inundaciones moderadas, esto indica que la tendencia a volver a ocurrir fuertes precipitaciones esta entre 15 a 20 años. Hubo fuerte sequía en los años de 1964 a 1970, mientras que en los años 1979, 1994 y 2010 se presentaron sequías moderadas en el altiplano peruano.

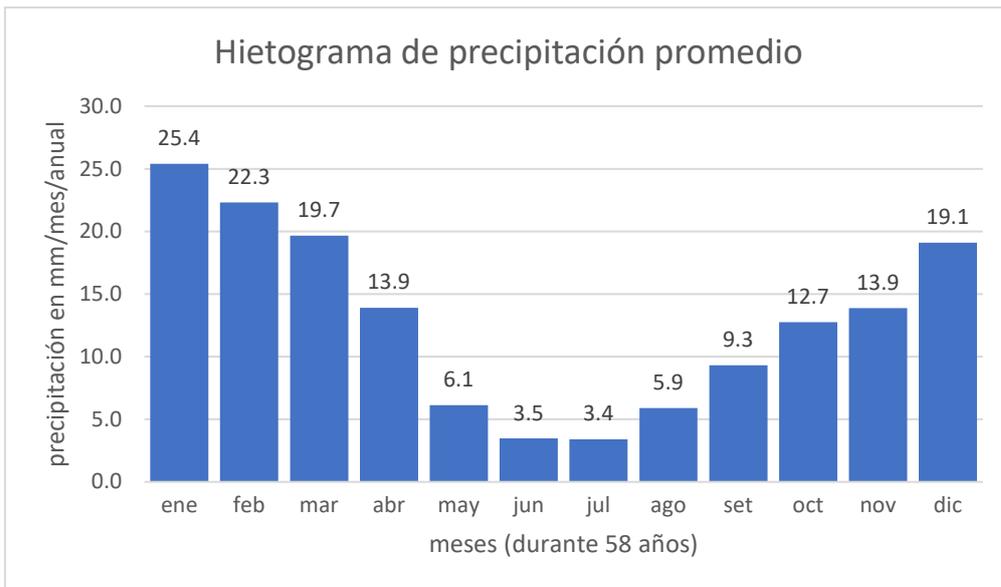


Figura N° 9: Hietograma de precipitaciones promedio mensual (mm/mes) – llave

En la Figura 9 se muestra el hietograma de precipitaciones máximas promedio anuales en mm, denotando que en todos los años, los meses de mayor precipitación son: enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, mientras que los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre son de precipitaciones escasas o muy bajas. Esta ocurrencia se denota a través de todos los años en estudio.

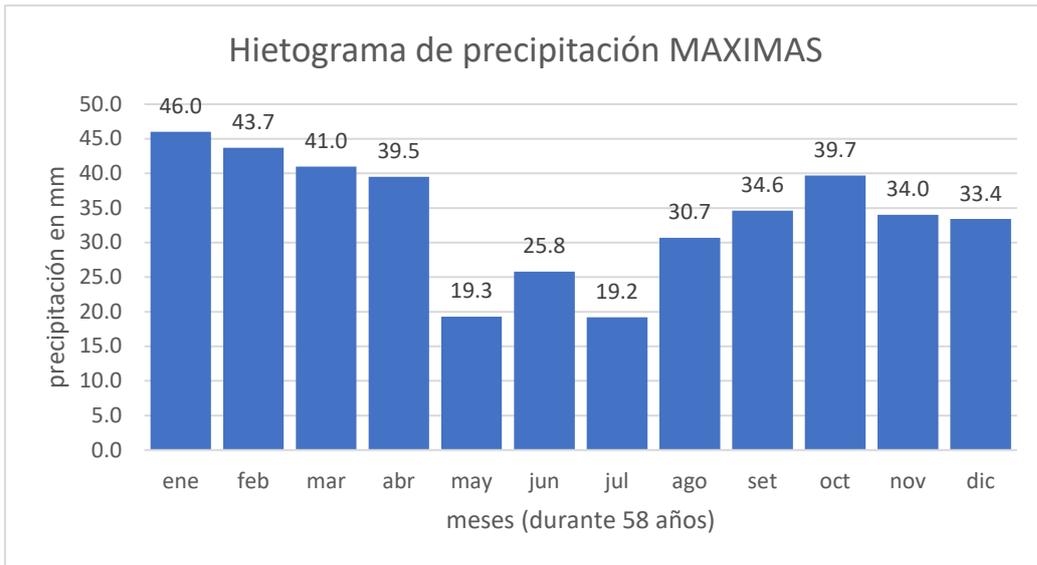


Figura N° 10: Hietograma de precipitaciones máximas por mes (mm/mes) – llave

En la Figura 10 se muestra el hietograma de precipitaciones máximas acumuladas anuales en mm, notándose una tendencia irregular, donde los meses de enero, febrero, marzo y abril son de mayor acumulación de agua por efecto de las precipitaciones en la cuenca de llave. Mientras que en los meses de mayo, junio y julio son de menor acumulación de precipitaciones.

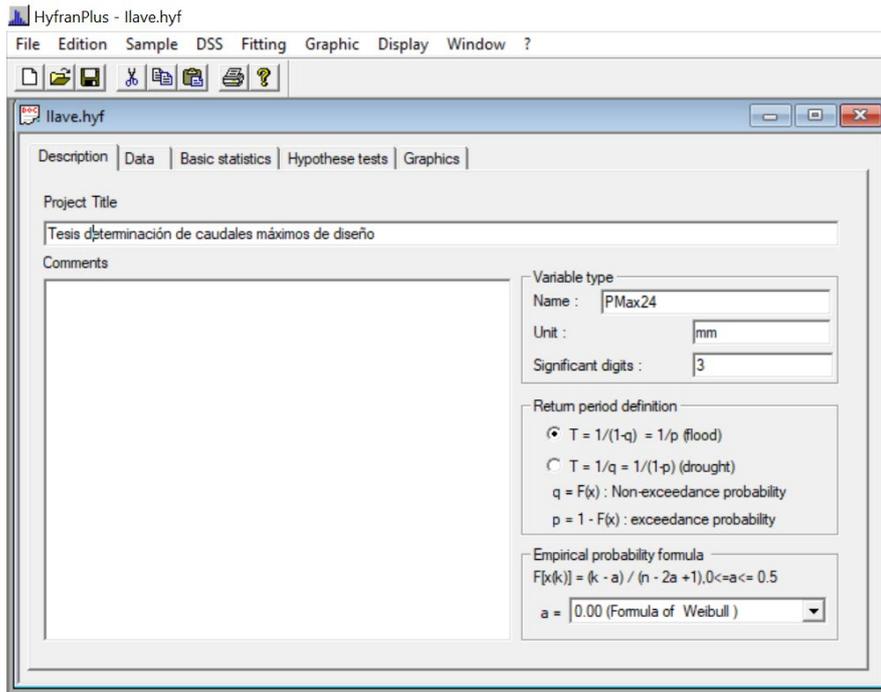


Figura N° 11: Menú de presentación del software HyFranPlus

En la Figura 11, se muestra el menú de presentación del software HyFranPlus, es un software que permite ajustar datos a distribuciones de probabilidades. Incluye un conjunto de opciones matemáticas, accesibles y flexibles que permiten en forma general el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de un conjunto de datos.

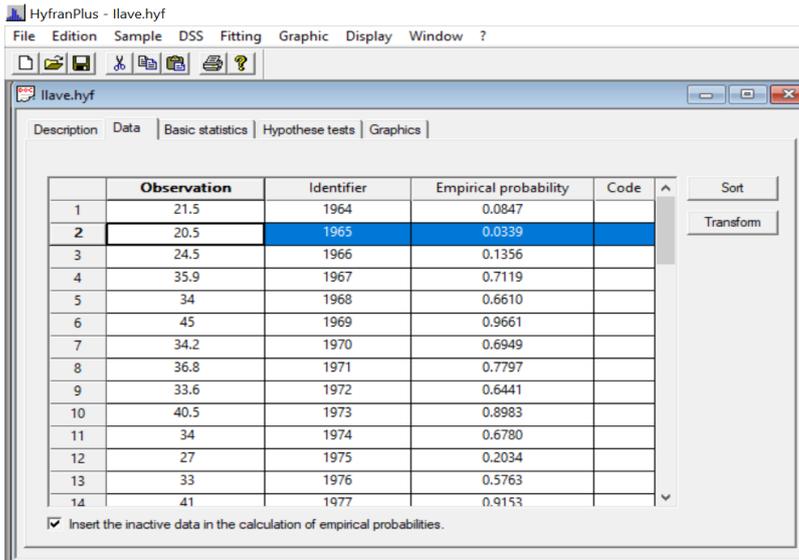


Figura N° 12: Menú de ingreso y edición de datos en HyFranPlus

En la Figura 12, se muestra el menú de ingreso y edición de datos en el software HyFranPlus, el mismo que se utilizó para la recuperación de datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave, desde la hoja electrónica MSeExcel.

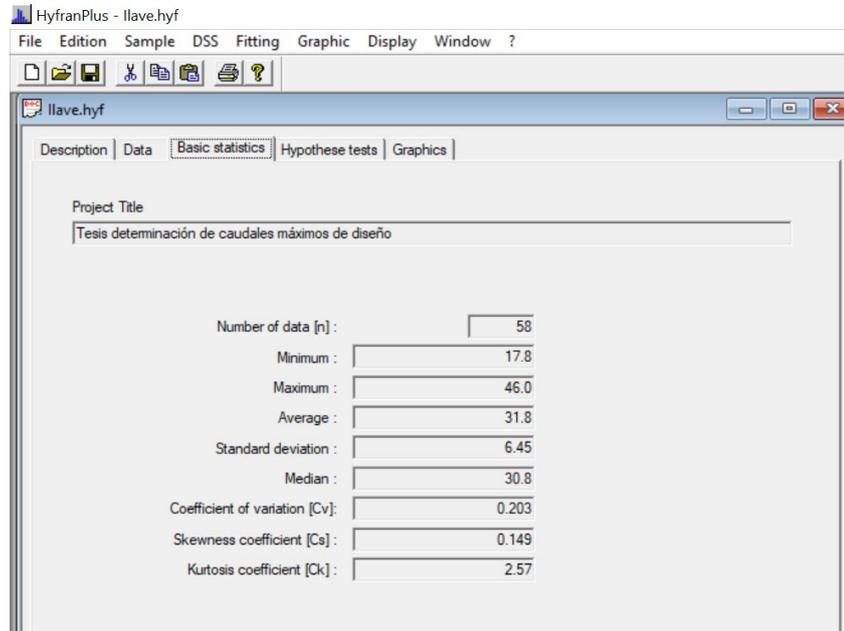


Figura N° 13: Menú de reportes de estadísticas básicas en HyFranPlus

En la Figura 13, se muestra el menú de reportes de los resultados de las estadísticas básicas en el software HyFranPlus, dentro de los que destacan el número de datos ingresados, el mínimo, el máximo, el promedio, la desviación estándar, la mediana, el coeficiente de variación, el coeficiente de sesgo y el coeficiente de agrupamiento.

Objetivo específico 1:

Determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel

En la teoría de probabilidad y de la estadística la distribución de probabilidad de Gumbel es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos.

Tabla N° 5: Parámetros de la distribución de probabilidad Gumbel

U	28.57104
Alpha	6.086155

En la Tabla 5 se muestran los valores estimados por la distribución de Gumbel (parámetro de posición $U=28.57$ y parámetro de variabilidad $\alpha=6.0862$), los que sirven para determinar el ajuste a partir de los datos de precipitación máxima de 24 horas anuales.

Además, se muestran los resultados del software Hidroesta2 para la prueba de bondad de ajuste a la distribución Gumbel, utilizando la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov:

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Ajuste con momentos ordinarios: como el delta teórico 0.0744, es menor que el delta tabular 0.1786. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel

de significación del 5%, cuyos parámetros de la distribución Gumbel con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 28.8568

Parámetro de escala (alfa)= 5.0307

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 28.7001

Parámetro de escala (alfal)= 5.3021

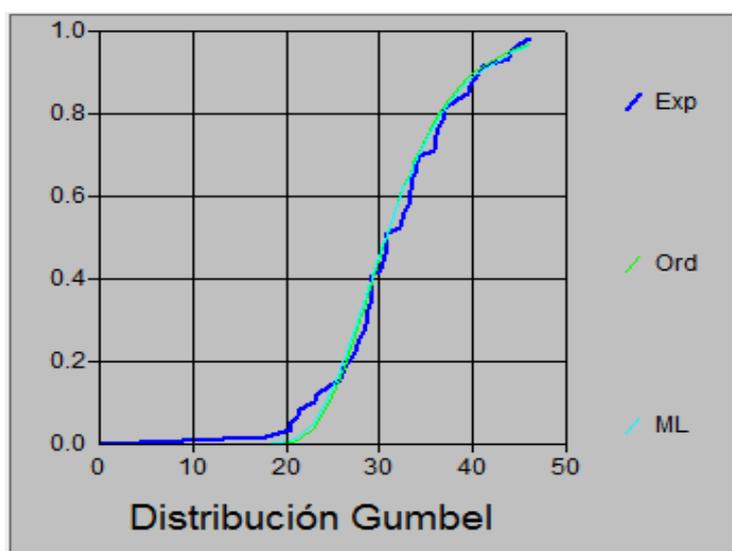


Figura N° 14: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel

En la Figura 14 se muestra la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en mm de la cuenca llave en color azul, mientras que la estimación con distribución Gumbel con el color celeste; lo que significa un ajuste bueno puesto que se notan muy relacionados, siguiendo la misma tendencia ascendente acelerado entre los 20 a 40 años y desacelerado más allá de los 40 años. En suma la gráfica de la distribución Gumbel tiene bastante semejanza con la gráfica acumulada de los datos de precipitación originales.

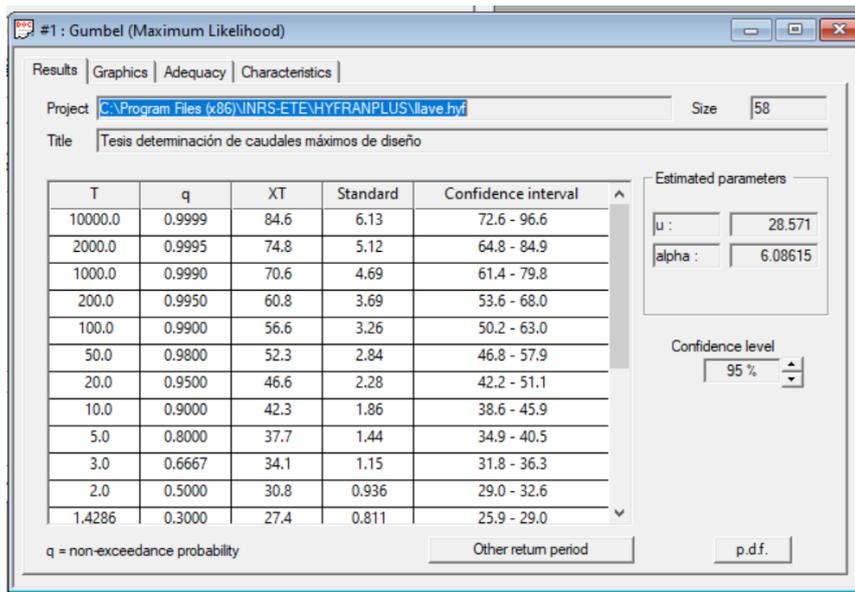


Figura N° 15: Menú de la prueba de bondad a la distribución Gumbel en HyFranPlus

En la Figura 15, se muestra el menú de los cálculos en HyFranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Gumbel mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave

Tabla N° 6: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gumbel

TR	probabilidad	Precipitación	DesvStandar	interval conf(95%)		Diferencia	caudal max m ³ /s
200	0.995	60.8	3.69	53.6	68	14.4	3305.7
100	0.99	56.6	3.26	50.2	63	12.8	3002.8
75	0.9867	54.8	3.09	48.8	60.9	12.1	2679.5
50	0.98	52.3	2.84	46.8	57.9	11.1	2255.7
20	0.95	46.6	2.28	42.2	51.1	8.9	1406.5
10	0.9	42.3	1.86	38.6	45.9	7.3	911.8
5	0.8	37.7	1.44	34.9	40.5	5.6	
3	0.6667	34.1	1.15	31.8	36.3	4.5	
2	0.5	30.8	0.936	29	32.6	3.6	141.6

En la Tabla 6 se muestran resultados de las probabilidades en tiempos de retorno de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales con sus respectivos intervalos de confianza, procesados a través del software HyFran Plus; además

de registrar en la última columna las estimaciones de los caudales máximos en m^3/s obtenidos a partir de las precipitaciones estimadas con la distribución Gumbel, luego de usar el software Hec HMS 4.10.

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades de Gumbel para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman 30.8, 42.3, 52.3 y 56.6 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 141.6, 911.8, 2255.7 y 3002.8 m^3/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

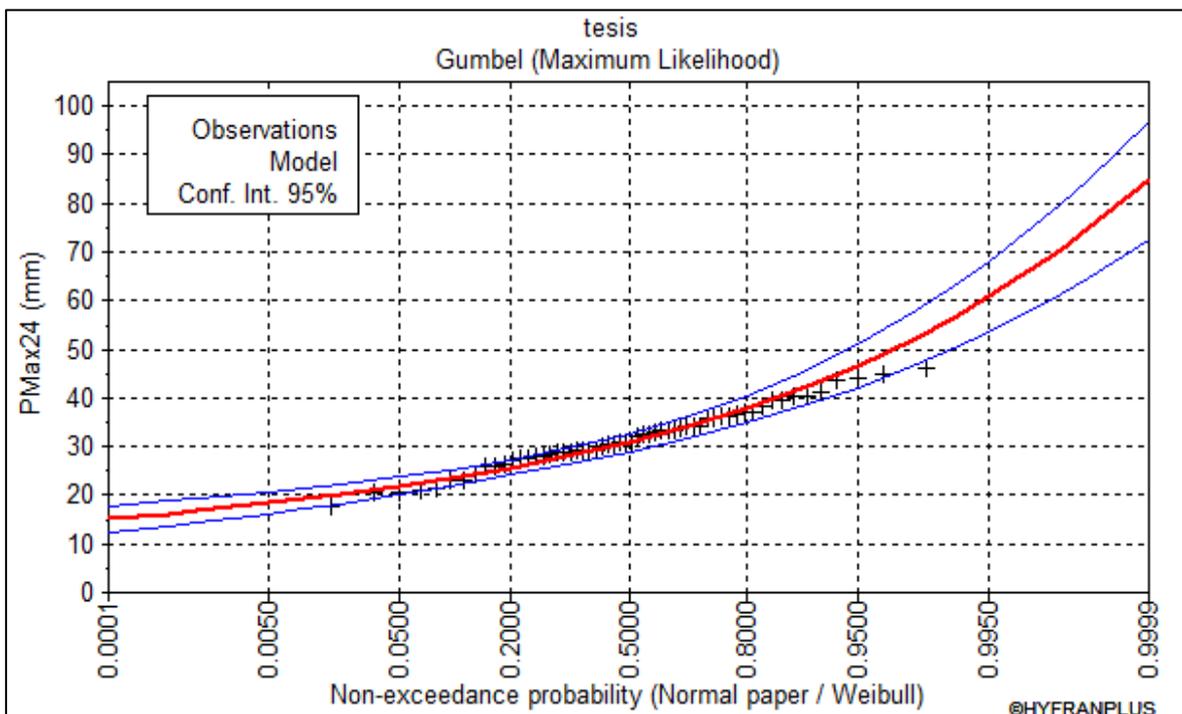


Figura N° 16: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel

El ajuste o tendencia de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de llave con el modelo de distribución Gumbel, en la Figura 16 muestra buen ajuste puesto que la mayoría de puntos (puntos cercanos a la línea roja) se encuentran dentro de los límites inferior y superior (color azul)

Objetivo específico 2:

Determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal

En estadística y probabilidad se llama distribución normal a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua. La importancia de esta distribución radica en que permite modelar numerosos fenómenos naturales, sociales y psicológicos.

Tabla N° 7: Parámetros de la distribución de probabilidad Normal

Mu	31.760345
Sigma	6.451328

En la Tabla 7 se muestran los valores estimados para la distribución Normal (parámetro de posición $\mu=31.76$ y parámetro de dispersión $\sigma=6.45$), los mismos que sirven para determinar el ajuste a partir de los datos de precipitación máxima de 24 horas anuales.

Además, se muestran los resultados del software Hidroesta2 para la prueba de bondad de ajuste a la distribución Normal, utilizando la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov:

Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

Ajuste con momentos ordinarios: como el delta teórico 0.0676, es menor que el delta tabular 0.1786. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%, cuyos parámetros de la distribución normal con momentos ordinarios:

Parámetro de localización (X_m)= 31.7605

Parámetro de escala (S)= 6.4521

Con momentos lineales:

Media lineal (XI)= 31.7605

Desviación estándar lineal (SI)= 6.514

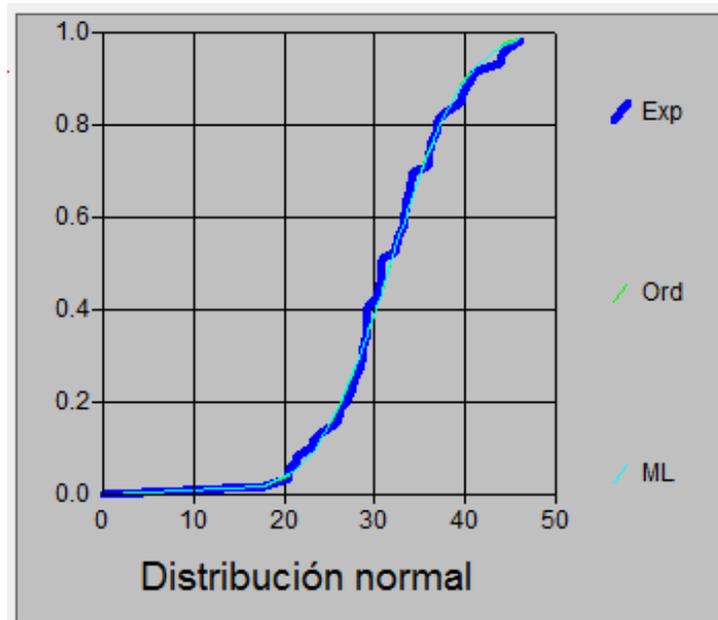


Figura N° 17: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Normal

En la Figura 17 se muestra la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en mm de la cuenca llave en color azul, mientras que la estimación con la distribución Normal con el color celeste; lo que significa un ajuste bueno puesto que se notan muy relacionados, siguiendo la misma tendencia ascendente acelerado entre los 20 a 40 años y desacelerado más allá de los 40 años.

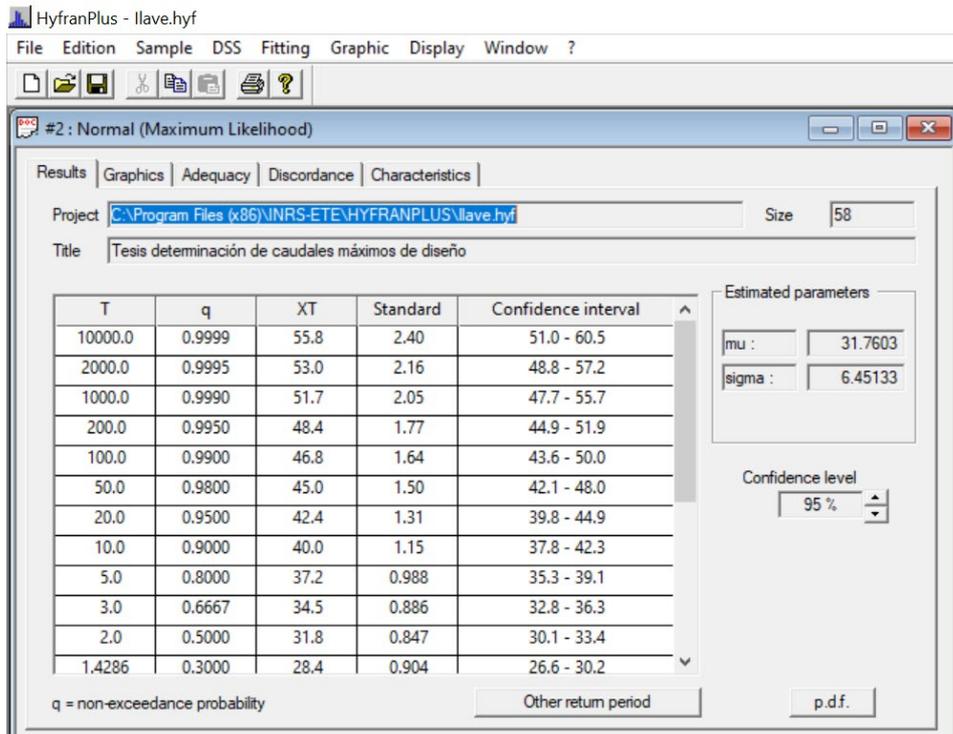


Figura N° 18: Menú de la prueba de bondad a la distribución Normal en HyFranPlus

En la Figura 18, se muestra el menú de los cálculos en HyFranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Normal mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave

Tabla N° 8: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Normal

TR	Probabilidad	Precipitación	DesvStandar	interval conf(95%)		Diferencia	caudal max m ³ /s
200	0.995	48.4	1.77	44.9	51.9	7	1540.5
100	0.99	46.8	1.64	43.6	50	6.4	1433.4
75	0.9867	46.1	1.58	43	49.2	6.2	1340.2
50	0.98	45	1.5	42.1	48	5.9	1203.8
20	0.95	42.4	1.31	39.8	44.9	5.1	922.0
10	0.9	40	1.15	37.8	42.3	4.5	690.1
5	0.8	37.2	0.988	35.3	39.1	3.8	
3	0.6667	34.5	0.886	32.8	36.3	3.5	
2	0.5	31.8	0.847	30.1	33.4	3.3	175.5

En la Tabla 8 se detallan los resultados de las probabilidades en tiempos de retorno de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales con sus respectivos intervalos de confianza, procesados a través del software HyFran Plus; además de registrar en la última columna las estimaciones de los caudales máximos en m³/s obtenidos a partir de las precipitaciones estimadas con la distribución Normal, luego de usar el software Hec HMS 4.10.

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Normal para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman en: 31.8, 40.0, 45.0 y 46.8 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 175.5, 690.1, 1203.8 y 1433.4 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

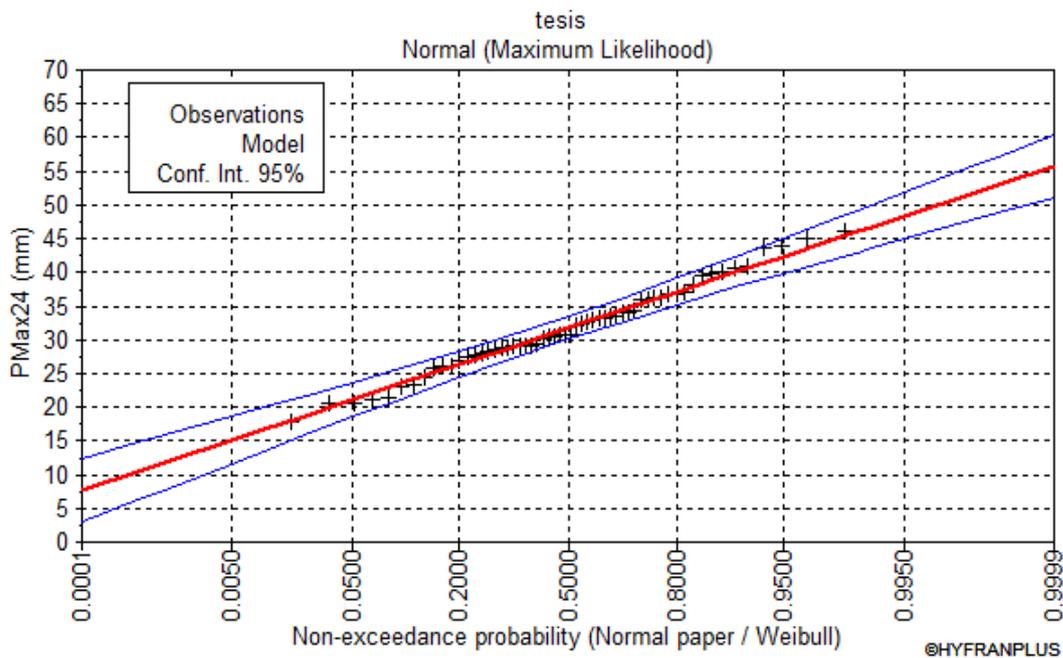


Figura N° 19: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Normal

El ajuste o tendencia de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de llave con el modelo de distribución Normal, en la Figura 19 muestra buen ajuste puesto que la mayoría de puntos (puntos cercanos a la línea roja) es

encuentran dentro de los límites inferior y superior (color azul)

Objetivo específico 3:

Estimar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gamma (Pearson Tipo III)

Normalmente, la distribución Pearson Tipo III es aplicada para describir la distribución de probabilidad de picos decrecientes de máximos anuales. Cuando la información es muy asimétrica positivamente se utiliza una transformación log para reducir la asimetría.

Tabla N° 9: Parámetros de la distribución de probabilidad Gamma (Pearson Tipo III)

Alpha	1.605173
Lambda	105.553571
M	-33.998018

En la Tabla 9 se muestran los valores estimados para la distribución Gamma (Pearson Tipo III) (parámetro alpha = 1.6052, parámetro Lambda = 105.55 y parámetro M = -33.998), los mismos que sirven para determinar el ajuste a partir de los datos de precipitación máxima de 24 horas anuales.

Además, se muestran los resultados del software Hidroesta2 para la prueba de bondad de ajuste a la distribución Gamma (Pearson Tipo III), utilizando la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov:

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 2 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

Ajuste con momentos ordinarios: como el delta teórico 0.0436, es menor que el delta tabular 0.1786. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2

parámetros, con un nivel de significación del 5%, los 2 parámetros de la distribución Gamma con momentos ordinarios:

Parámetro de forma (gamma)= 23.9355

Parámetro de escala (beta)= 1.3269

Con momentos lineales:

Parámetro de forma (gammal)= 12.1948

Parámetro de escala (betal)= 2.6044

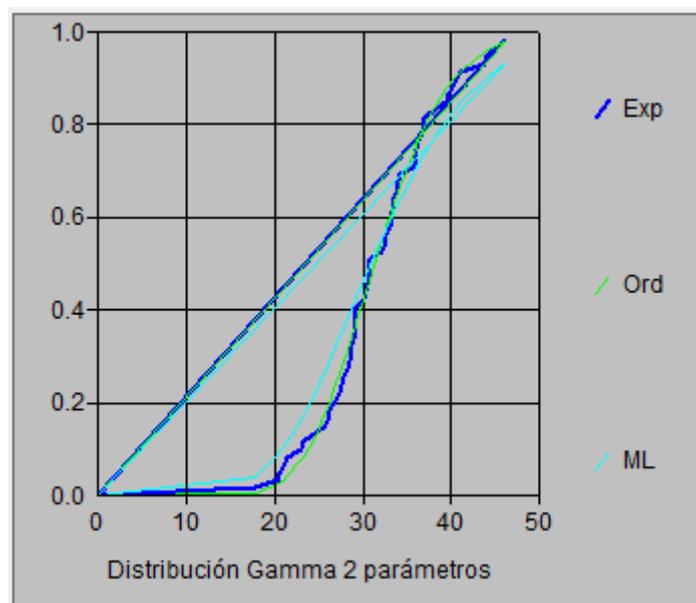


Figura N° 20: Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson Tipo III)

En la Figura 20 se muestra la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en mm de la cuenca llave en color azul, mientras que la estimación con la distribución Gamma (Pearson Tipo III) con el color celeste; lo que significa un ajuste bueno puesto que se notan muy relacionados, siguiendo la misma tendencia ascendente acelerado entre los 20 a 40 años y desacelerado más allá de los 40 años.

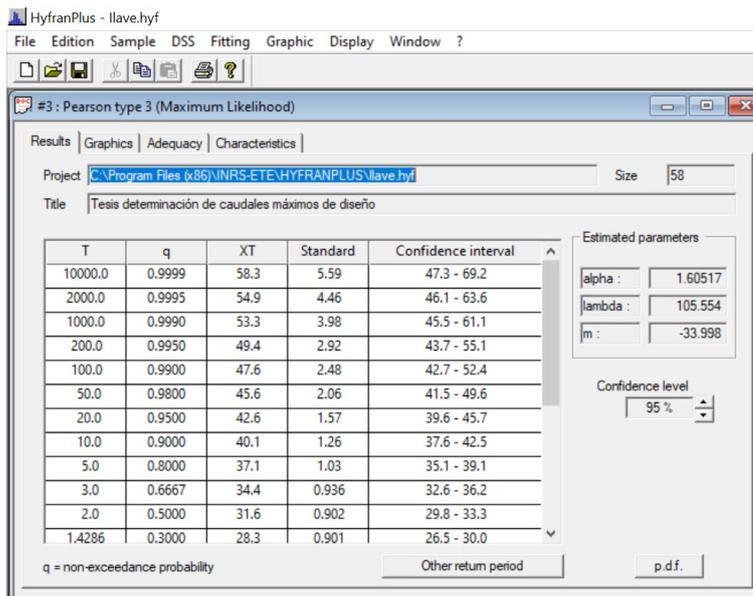


Figura N° 21: Menú de la prueba de bondad a la distribución Pearson tipo III en HyFranPlus

En la Figura 21, se muestra el menú de los cálculos en HyFranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Pearson Tipo III mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave

Tabla N° 10: Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gamma (Pearson Tipo III)

TR	probabilidad	Precipitación	DesvStandar	interval conf(95%)		Diferencia	caudal max m ³ /s
200	0.995	49.4	2.92	43.7	55.1	11.4	1671.2
100	0.99	47.6	2.48	42.7	52.4	9.7	1543.3
75	0.9867	46.8	2.3	42.2	51.3	9.1	1433.4
50	0.98	45.6	2.06	41.5	49.6	8.1	1275.3
20	0.95	42.6	1.57	39.6	45.7	6.1	942.6
10	0.9	40.1	1.26	37.6	42.5	4.9	699.2
5	0.8	37.1	1.03	35.1	39.1	4	
3	0.6667	34.4	0.936	32.6	36.2	3.6	
2	0.5	31.6	0.902	29.8	33.3	3.5	168.2

En la Tabla 10 se muestran resultados de las posibilidades en tiempos de retorno

de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales con sus respectivos intervalos de confianza, procesados a través del software HyFran Plus; además de registrar en la última columna las estimaciones de los caudales máximos en m^3/s obtenidos a partir de las precipitaciones estimadas con la distribución Gamma (Pearson Tipo III), luego de usar el software Hec HMS 4.10.

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Gamma (Pearson Tipo III) para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman en: 31.6, 40.1, 45.6 y 47.6 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 168.2, 699.2, 1275.3 y 1533.4 m^3/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

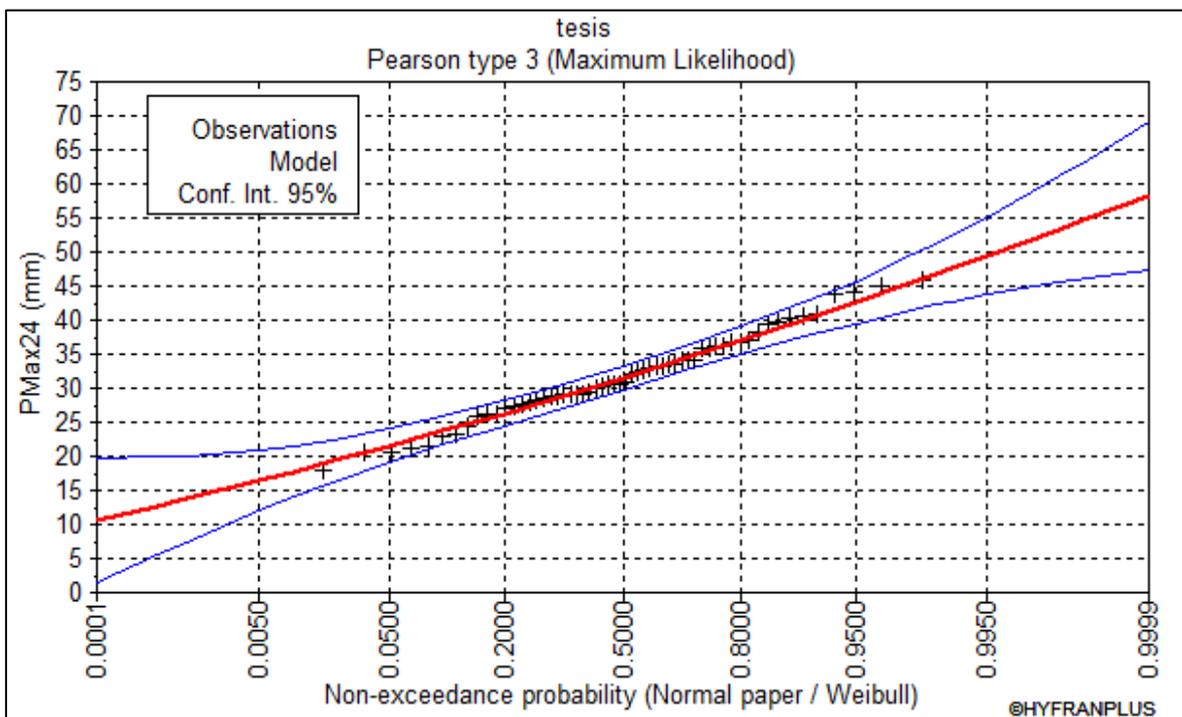


Figura N° 22: Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson Tipo III)

El ajuste o tendencia de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de llave con el modelo de distribución Normal, en la Figura 22 muestra buen ajuste puesto que la mayoría de puntos (puntos cercanos a la línea roja) es encuentran dentro de los límites inferior y superior (color azul)

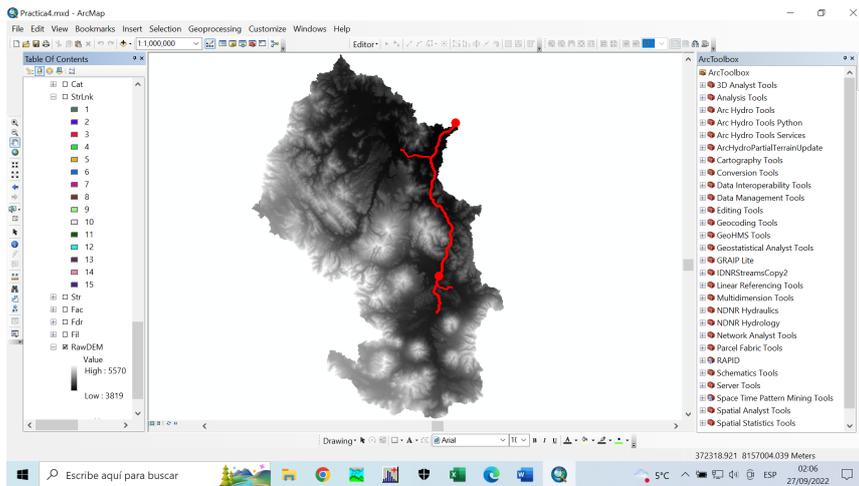


Figura N° 23: Menú de captura de imagen de la cuenca del río llave en GeoHMS

En la Figura 23, se muestra el menú de captura en el software GeoHMS de la cuenca del río llave a través de los puntos de nivel abstraídos de un georeferencial publicado por el Ministerio de Educación del Perú, además es el primer paso para determinar los parámetros mínimos para el cálculo de caudales máximos, como son las longitudes, los bloques las direcciones y las áreas de la cuenca llave.

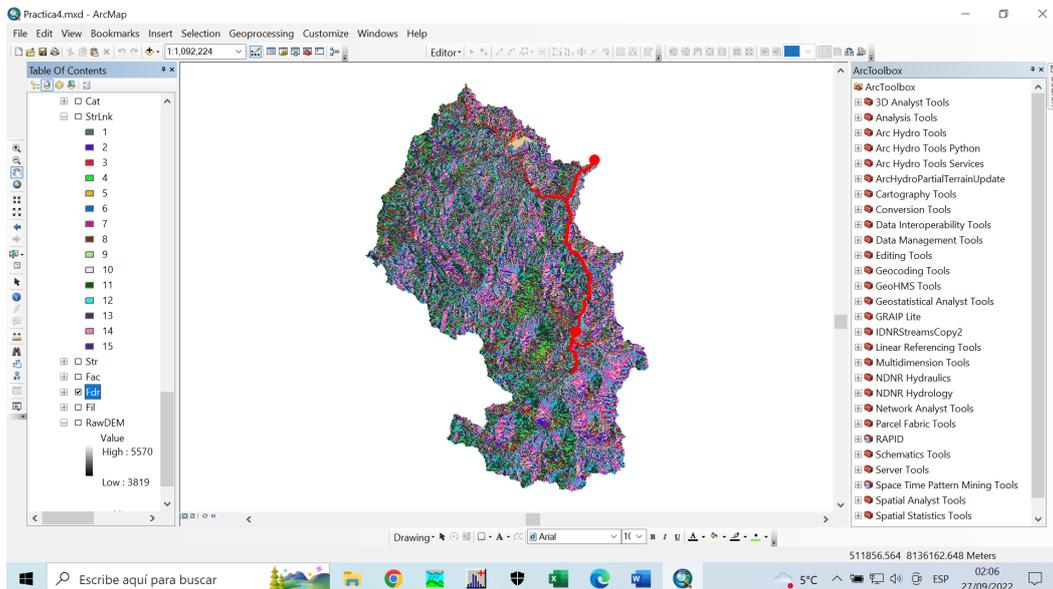


Figura N° 24: Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en GeoHMS

En la Figura 24, se muestra el menú de reconocimiento de bloques en el software GeoHMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el segundo paso para determinar los parámetros mínimos para el cálculo de caudales máximos, como son las longitudes, los bloques las direcciones y las áreas de la cuenca llave.

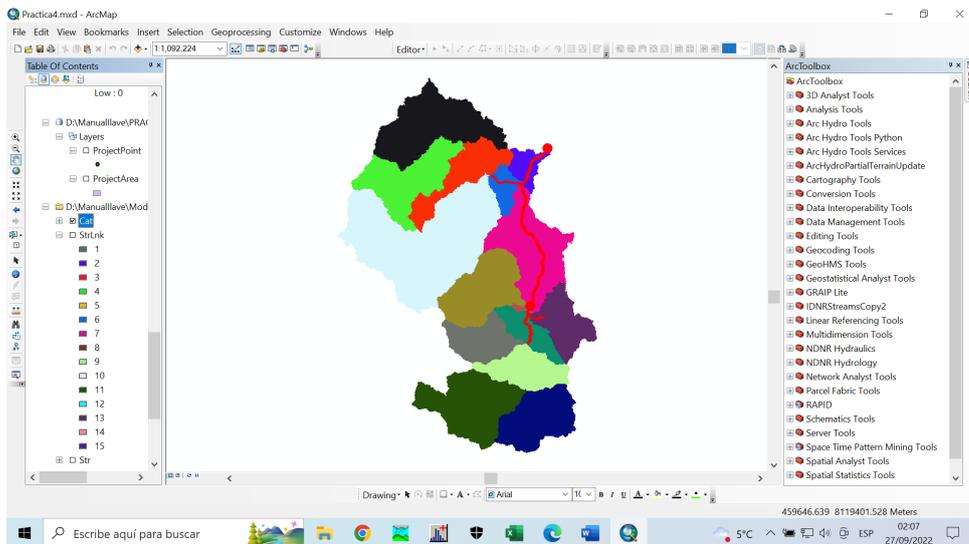


Figura N° 25: Menú de reconocimiento de bloques de la cuenca del río llave en GeoHMS

En la Figura 25, se muestra el menú de reconocimiento de bloques en el software GeoHMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el tercer paso para determinar los parámetros mínimos, además con el reconocimiento de bloques se encontraron catorce mini cuencas en la cuenca del río llave.

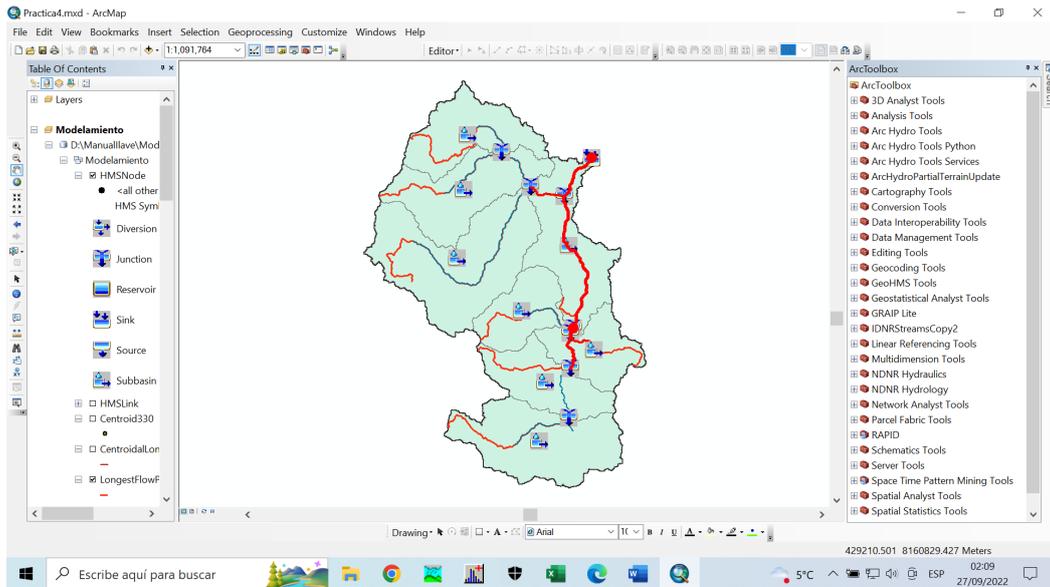


Figura N° 26: Menú de reconocimiento mini cuencas de la cuenca del río llave en GeoHMS

En la Figura 26, se muestra el menú de reconocimiento de mini cuencas en el software GeoHMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el cuarto paso para determinar las parámetros mínimos, además con el reconocimiento de mini cuencas se encontraron catorce mini cuencas en la cuenca del río llave.

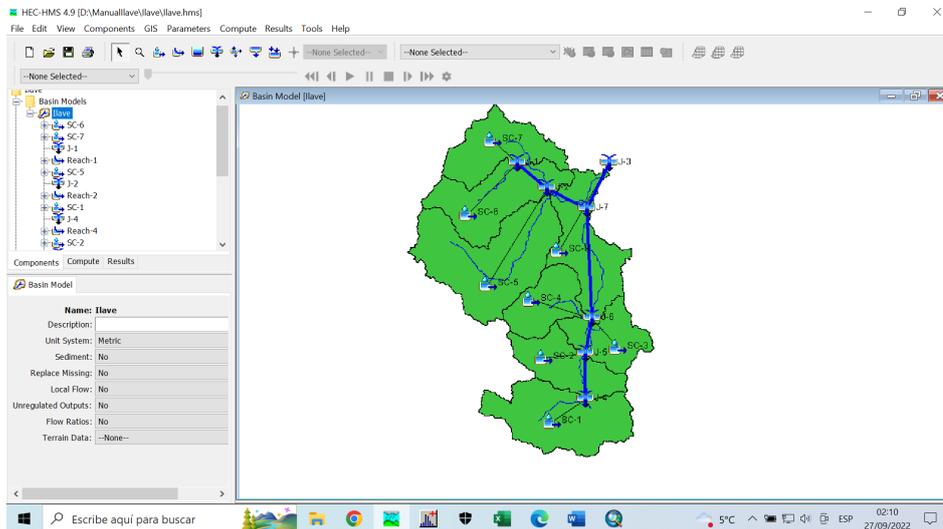


Figura N° 27: Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en HecHMS

En la Figura 27, se muestra el menú de reconocimiento de la imagen en el software HechMS de la cuenca del río llave a través del software GeoHMS con todas las características de reconocimiento de mini cuencas que se encontraron como son las catorce mini cuencas en la cuenca del río llave. El software se encarga de estimar a través de métodos matemáticos las aproximaciones de caudales máximos a partir de las precipitaciones pluviales en esta cuenca. Para ello se reportaron caudales máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, considerando distintas distribuciones de probabilidad.



Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
J-3	7751.17	1543.2	01ene.2022, 14:30	4.89

Figura N° 28: Menú de reportes de caudales máximos de la cuenca del río llave en HechMS

En la Figura 28, se muestra el menú de reportes de las estimaciones del área aproximada, perímetros y caudales de la cuenca llave en el software HechMS de la cuenca del río llave. El software se encarga de estimar a través de métodos matemáticos las aproximaciones de caudales máximos a partir de las precipitaciones pluviales en esta cuenca. Para ello se reportaron caudales máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, considerando distintas distribuciones de probabilidad.

V. DISCUSIÓN

Discusión 1

En el trabajo de Mamani en la determinación de caudales máximos en la cuenca de Ayaviri-Puno-Perú, la precipitación máxima de 24 horas estimada para los tiempos de retorno de: 50, 100 y 200 años, por el método de la distribución de probabilidad de 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.

Tabla N° 11: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Gumbel4

Distribucion Gumbel	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	52.865	57.33	61.781	mm
caudalMax	270.305	293.135	315.893	m ³ /s

En la Tabla 11 se muestra las estimaciones de precipitaciones máximas de 24hrs; así para un periodo de retorno de 50 años es de 52.865 mm, para un periodo de 100 años sería una estimación de 61.781 mm; también se puede observar una estimación caudal máximo de diseño de 270.305 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, como también una estimación caudal máximo de diseño de 293.135 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

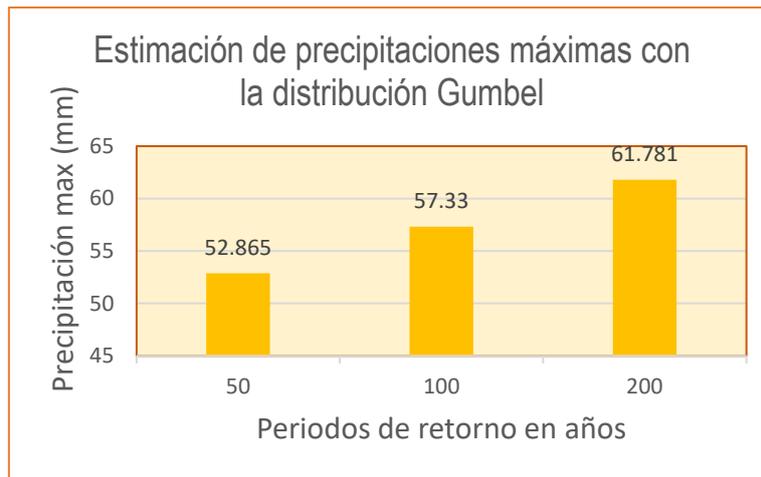


Figura N° 29: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Gumbel

En la figura 29 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (52.865, 57.33 y 61.781) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Gumbel.

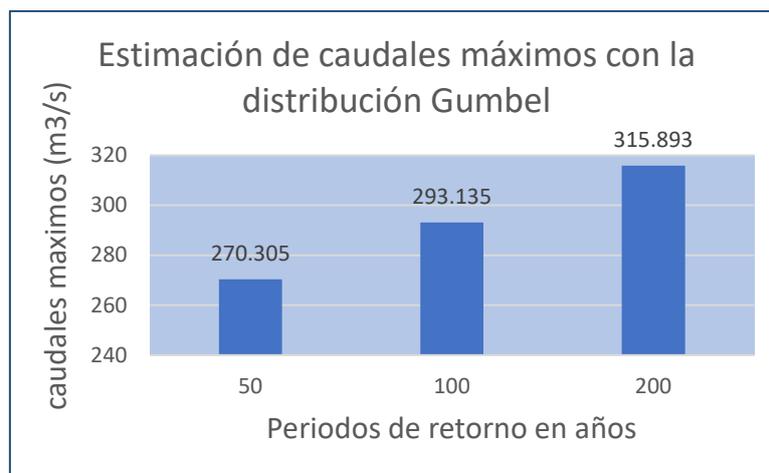


Figura N° 30: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Gumbel

En la figura 30 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m³/m (270.305, 293.135 y 315.893) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Gumbel.

En nuestra investigación las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por

el modelo de distribución de probabilidades de Gumbel para tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años se estiman 52.3, 56.6 y 60.8 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 2255.7, 3002.8 y 3305.7 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

Tabla N° 12: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Gumbel

Distribucion Gumbel	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	52.3	56.6	60.8	mm
caudalMax	2255.7	3002.8	3305.7	m3/s

En la Tabla 12 se muestra las estimaciones de precipitaciones máximas de 24hrs; así para un periodo de retorno de 50 años es de 52.30 mm, para un periodo de 100 años sería una estimación de 56.60 mm; también se puede observar una estimación de caudal máximo de diseño de 2255.70 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, como también una estimación de caudal máximo de diseño de 3002.8 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

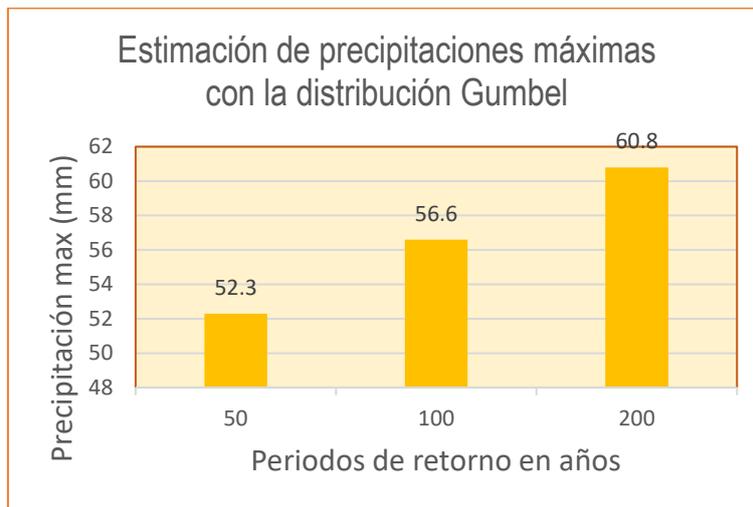


Figura N° 31: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Gumbel

En la figura 31 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (52.30, 56.6 y 60.80) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Gumbel.

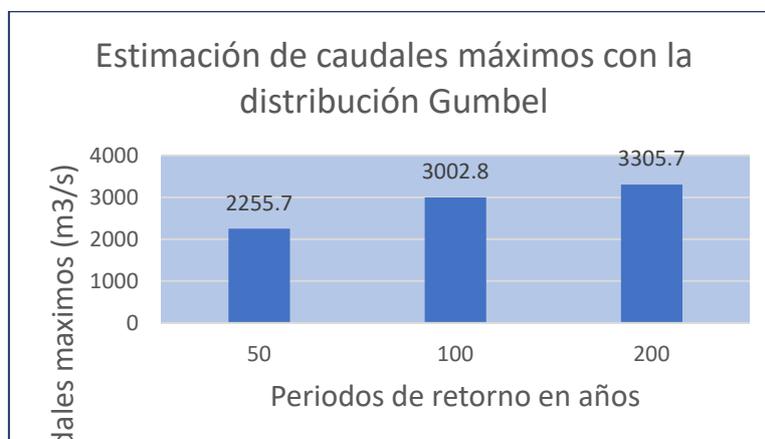


Figura N° 32: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Gumbel

En la figura 32 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m³/m (2255.70, 3002.80 y 3305.70) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Gumbel.

Por lo que existe similitud para el tiempo de retorno de 50 años para la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades de Gumbel (52.86mm frente 52.30mm), mientras que para el tiempo de retorno de 100 años se muestra también similitud en la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas (57.33mm frente a 56,60mm). Pero para la estimación de caudales máximo de diseño a partir de la distribución Gumbel existe fuerte discrepancia, tal es así que para el tiempo de retorno de 50 años en el trabajo de Mamani es de 270.31 m³/s, mientras que el nuestro para el mismo tiempo de retorno es de 2255.7 m³/s. De igual modo para el tiempo de retorno de 100 años en su trabajo muestra un caudal de retorno de 293.14 m³/s y en el nuestro para el mismo tiempo de retorno es de 3002.8 m³/s.

Discusión 2

En el estudio de Mamani la precipitación máxima de 24 horas estimadas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de distribución de probabilidad Normal, fueron de 40.32, 41.66 y 42.88 mm respectivos; los caudales máximos calculados, por el método de Mac-Math fueron de 206.161, 213.012 y 219.250 m³/s. Tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla N° 13: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Normal

Distribución Normal	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	40.32	41.66	42.88	mm
caudalMax	206.161	213.012	219.25	m ³ /s

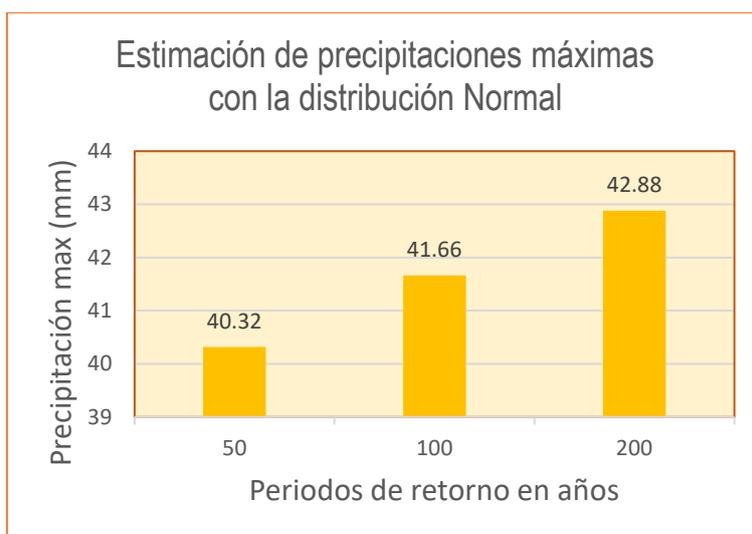


Figura N° 33: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Normal

En la figura 33 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (40.32, 41.66 y 42.88) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de la Normal.

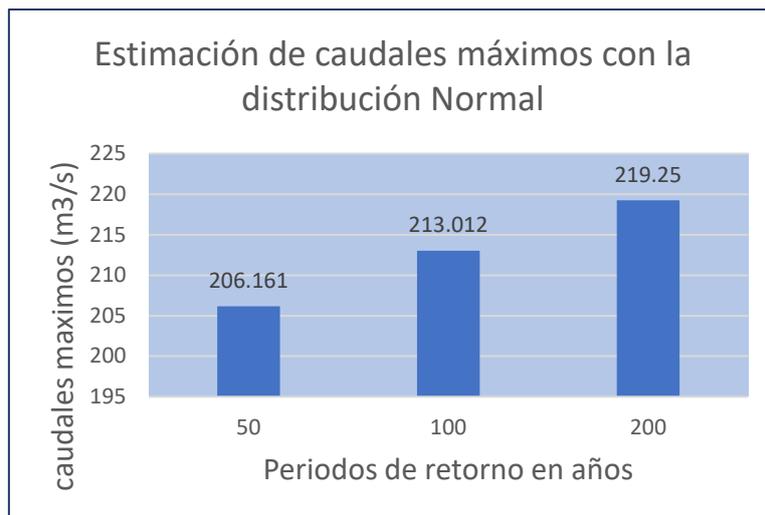


Figura N° 34: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Normal

En la figura 34 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m^3/m (206.161, 213.012 y 219.25) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de la Normal.

En el presente estudio las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Normal para tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años se estiman en: 45.0, 46.8 y 48.4 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 1203.8, 1433.4 y 1540.5 m^3/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave. Tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla N° 14: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Normal

Distribución Normal	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	45	46.8	48.4	mm
caudalMax	1203.8	1433.4	1540.5	m^3/s

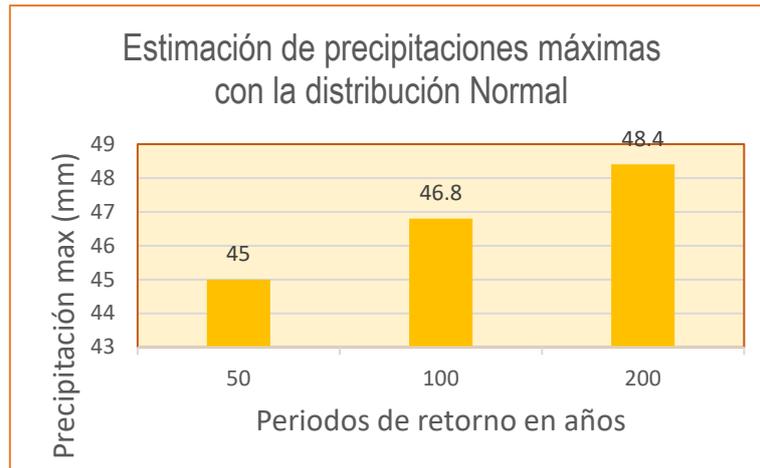


Figura N° 35: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Normal

En la figura 35 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (45, 46.8 y 48.4) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de la Normal.

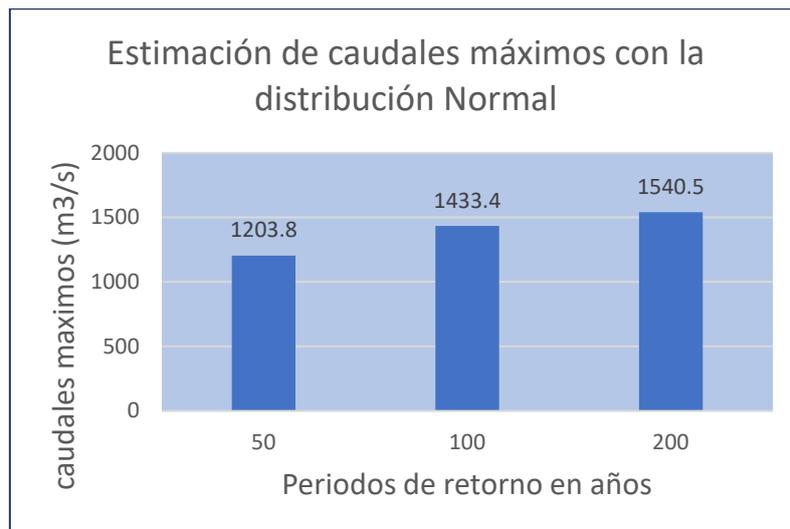


Figura N° 36: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Normal

En la figura 36 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m³/m (1203.8, 1433.4 y 1540.5) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de la Normal.

Se muestra cierta similitud para el tiempo de retorno de 50 años para la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades de Normal (40.32mm frente 45.00mm), mientras que para el tiempo de retorno de 100 años se muestra también similitud en la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas (41.66mm frente a 46.8mm). Pero para la estimación de caudales máximo de diseño a partir de la distribución Normal existe fuerte discrepancia, tal es así que para el tiempo de retorno de 50 años en el trabajo de Mamani es de 206.16 m³/s, mientras que el nuestro trabajo para el mismo tiempo de retorno es de 1203.8 m³/s. De igual modo para el tiempo de retorno de 100 años en su trabajo muestra un caudal de retorno de 213.012 m³/s y en el nuestro para el mismo tiempo de retorno es de 1433.4 m³/s.

Discusión 3

En el trabajo que realizó Mamani en la cuenca de Ayaviri la precipitación máxima de 24 horas estimada para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, por el método de distribución de probabilidad de Gamma (Pearson Tipo III), fueron de 52.865, 57.33 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. Tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla N° 15: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Pearson Tipo III

Distribución Pearson T III	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	52.865	57.33	61.781	mm
caudMax	270.305	293.135	315.893	m ³ /s

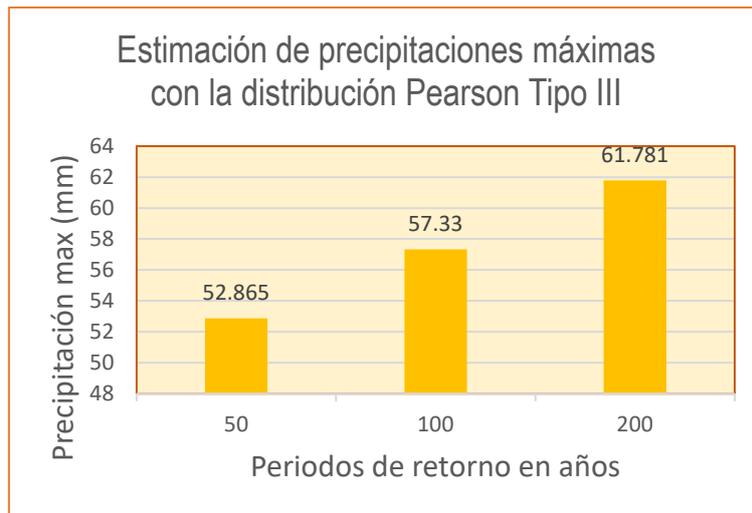


Figura N° 37: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Pearson

En la figura 37 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (52.865, 57.33 y 61.781) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Pearson Tipo III.

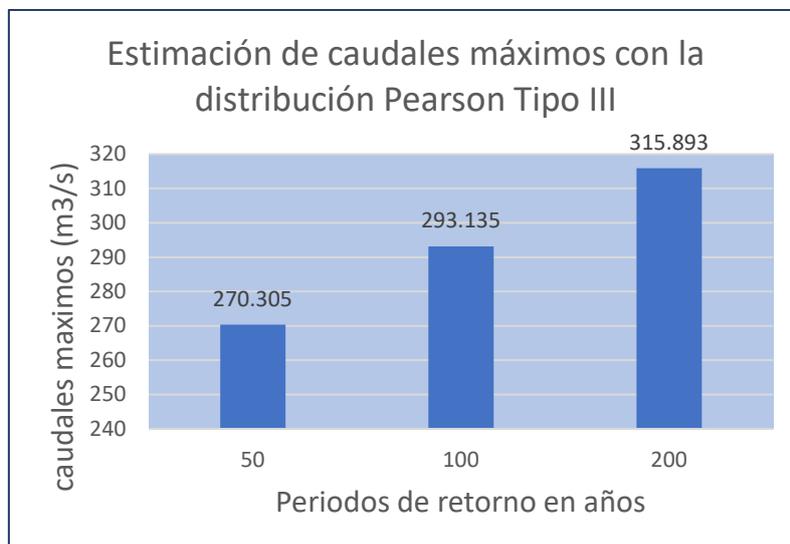


Figura N° 38: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Pearson

En la figura 38 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m³/m (270.305, 293.135 y 315.893) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de

Pearson Tipo III.

En la presente investigación las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Gamma (Pearson Tipo III) para tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años se estiman en: 40.1, 45.6 y 47.6 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 1275.3, 1543.3 y 1671.2 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

Tabla N° 16: Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Pearson Tipo III

Distribución	Periodos de retorno en años			
Pearson T III	50	100	200	
precipMax	45.6	47.6	49.4	mm
caudMax	1275.3	1543.3	1671.2	m3/s

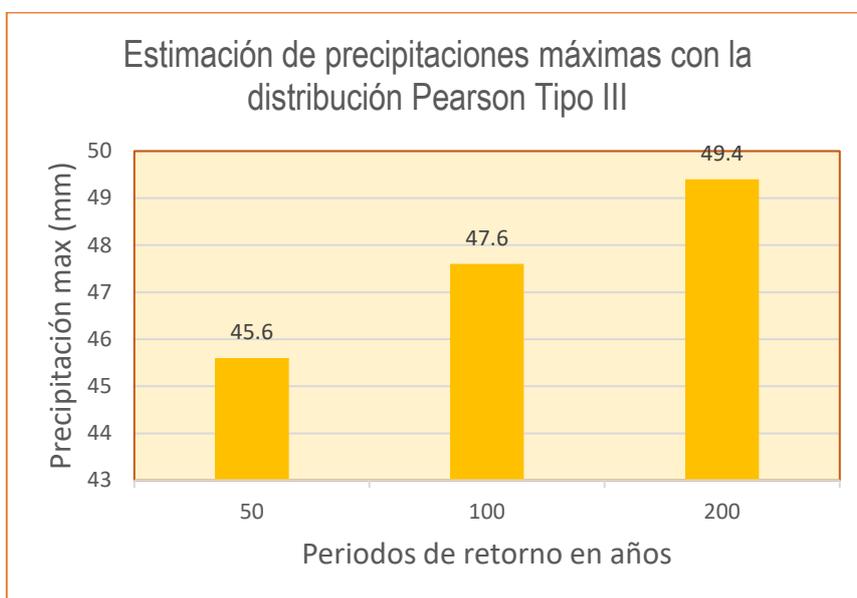


Figura N° 39: Estimación de precipitaciones máximas de 24hrs con la distribución Pearson

En la figura 39 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de precipitaciones máximas en mm (45.6, 47.6 y 49.4) para los periodos de retorno

de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Pearson Tipo III.

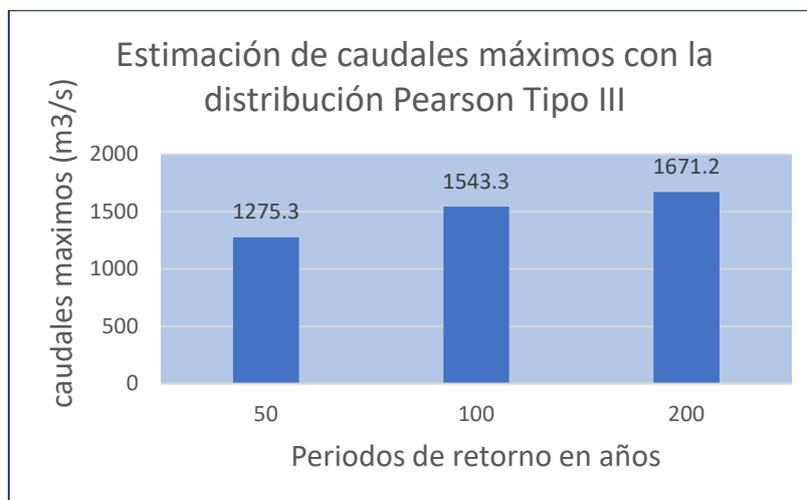


Figura N° 40: Estimación de caudales de máximos de diseño con la distribución Pearson

En la figura 40 se muestra un crecimiento moderado de las estimaciones de caudales máximos de diseño en m^3/m (1275.3, 1543.3 y 1671.2) para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años con la distribución de probabilidad de Pearson Tipo III.

Se muestra cierta similitud para el tiempo de retorno de 50 años para la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades de Gamma (Pearson Tipo III) (40.32mm frente 45.60mm), mientras que para el tiempo de retorno de 100 años se muestra también similitud en la estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas (41.66mm frente a 47.6mm). Pero para la estimación de caudales máximo de diseño a partir de la distribución Gamma (Pearson Tipo III) existe fuerte discrepancia, tal es así que para el tiempo de retorno de 50 años en el trabajo de Mamani es de $224.926 m^3/s$, mientras que el nuestro trabajo para el mismo tiempo de retorno es de $1203.8 m^3/s$. De igual modo para el tiempo de retorno de 100 años en su trabajo muestra un caudal de retorno de $213.012 m^3/s$ y en el nuestro para el mismo tiempo de retorno es de $1533.4 m^3/s$.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión 1

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades de Gumbel para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman 30.8, 42.3, 52.3 y 56.6 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 141.6, 911.8, 2255.7 y 3002.8 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

Conclusión 2

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Normal para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman en: 31.8, 40.0, 45.0 y 46.8 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 175.5, 690.1, 1203.8 y 1433.4 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

Conclusión 3

Las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas por el modelo de distribución de probabilidades Gamma (Pearson Tipo III) para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años se estiman en: 31.6, 40.1, 45.6 y 47.6 mm máximos de 24 horas, los cuales a su vez estiman 168.2, 699.2, 1275.3 y 1533.4 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca llave cerca al punto más crítico que es el puente internacional de llave.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación 1

Respecto a la obtención de información, en este caso de las precipitaciones máximas de 24 horas en mm en cualquier aforo o estación pluviométrica tener muy en cuenta la validez y confiabilidad de los datos, a su vez contrastar con algunos trabajos similares, para que la consistencia de la información sea la más real y coherente.

Recomendación 2

El procesamiento de la información con la metodología hidrológica correspondiente depende mucho del tamaño de la cuenca. En nuestro caso el tamaño aproximado de la cuenca de llave es de 7832.53 Km², es relativamente grande y se usaron los métodos de análisis del Hidrograma unitario y Servicio de Conservación de Suelos (SCS), además se hizo uso del software Hec HMS.

Recomendación 3

Es muy importante el estudio en la determinación de caudales máximos a través de modelos probabilísticos y ejecutar utilizando o simulando con la distribución de probabilidad Log Normal con 3 parámetros, Gama con 2 y 3 parámetros. Utilizar aquel modelo que registre menor variabilidad y que sea a un nivel de confianza por encima del 95%.

A su vez hacer uso de las estimaciones de caudales máximos de diseño, así como las máximas avenidas para prever y proyectar la construcción de obras civiles como defensas ribereñas, puentes, reservorios entre otros que anticipen la resistencia y durabilidad en el tiempo frente riesgos naturales en hidrología, pensando en la salud pública y calidad de vida de las poblaciones de personas humanas en crecimiento demográfico acelerado.

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, G. 2021. Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020
- 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/B978012811689000001>
X
- _____. 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 cuenca llave, Puno – 2022".

Nombre: Paredes Quispe, Juan Reynaldo.

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	de 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. 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. Para Chow <i>et al.</i> (1994) y Villón (2004), el periodo de retorno (T) es un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento	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. 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. Los Caudales máximos de diseño, se operacionaliza mediante su dimensión de	D ₁ : Características geomorfológicas D ₂ : Precipitación de 24h D ₃ : Periodo de	I1: Área I2: Pendiente I3: Densidad de drenaje I1: Alta < 600 mm/año I2: Media 601 - 799 mm/año I3: Baja > 800 mm/año I1: Tiempo de retorno de 50	de Ficha de recopilación de información	Razón Nominal Razón Nominal Razón Intervalo

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.

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.

I2: Tiempo de retorno
100
I3: Tiempo de retorno
200

Anexo 2. Matriz de Consistencia

TITULO: “Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022”.

AUTOR: Br. Paredes Quispe, Juan Reynaldo.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Dependiente V1: Métodos convencionales			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 Técnicas: Observación directa Instrumento: Ficha de recopilación de información
¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno - 2022?	Determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno - 2022	Los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos son iguales en la cuenca llave, Puno – 2022		D1: Distribución Gumbel	I1: Parámetros de forma	
				D2: Distribución normal	I2: Parámetros de posición	
				D3: Gamma (Pearson Tipo III)	I3: Parámetros de escala	
Problema específico	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable	Dimensiones	Indicadores	
¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel en la cuenca llave, Puno - 2022?	Determinar los caudales máximos de diseño mediante la los distribución normal	Los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel, son similares a los demás métodos	Independiente V2: Caudales máximos de diseño	D1: Características geomorfológicas	I1: Área I2: Pendiente I3: Densidad de drenaje	
¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante la los distribución normal en la cuenca llave, Puno - 2022?	Determinar los caudales máximos de diseño mediante la los distribución normal	Los caudales máximos de diseño mediante la los distribución normal, son iguales a los demás métodos		D2: Precipitación de 24h	I1: Alta < 600 mm/año I2: Media 601-799 mm/año I3: Baja > 800 mm/año	

¿Cuánto son los Caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III) en la cuenca llave, Puno - 2022?	Estimar los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III)	Los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III), son iguales a los demás métodos		D3: Tiempo de retorno	I1: Tiempo de retorno 50 I2: Tiempo de retorno 100 I3: Tiempo de retorno 200
---	--	---	--	-----------------------	--

Anexo 2. Precipitaciones máximas de 24 horas/mes de la cuenca llave

Precipitaciones máximas/día/mensual en mm de la cuenca llave

	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Max
1	1964	15.5	7	0	19	6	0	0	4	11	6	21.5	8	21.5
2	1965	2.7	3.3	2.4	2.5	0.5	0	0	0	3	9.5	5.5	20.5	20.5
3	1966	16.5	24.5	12.5	10.5	14.7	0	0	0	1.1	14.9	2.1	14.5	24.5
4	1967	20.2	35.9	34.2	6.7	6	0	7.1	7.4	7.4	10	6.8	15.6	35.9
5	1968	21.8	24.2	19.5	16.1	9.9	8.2	4.2	1	5.4	6	34	23	34.0
6	1969	45	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	8.6	12	45.0
7	1970	19	26.6	34.2	17.8	12	2.4	3.2	0	18.5	11	12.4	29	34.2
8	1971	36.8	28.8	8.9	13.5	1.4	4.9	0.1	20.3	0	5.4	16	19	36.8
9	1972	33.6	14.9	17.8	15	0	0	6.4	4.5	10.9	6	10.6	19.5	33.6
10	1973	40.5	32.3	21	23	7.4	0	5	6.8	9.2	13.4	13.4	12	40.5
11	1974	30	34	11	10	0	4	0	22	3	7	6	25	34.0
12	1975	22	23	12	11	19	19	0	7	12	27	4	25	27.0
13	1976	33	25	29	16	8	3	1	18	19	3	3	24	33.0
14	1977	22	20	41	2	1.3	0	7.1	2.8	34.6	12.5	31.1	13.2	41.0
15	1978	30.1	25.1	20.8	8	0	0	4.2	5	14	6.8	20.5	0	30.1
16	1979	17.5	15.1	8.35	11.7	6.89	0.87	1.32	1.75	1.89	9.12	11.4	17.8	17.8
17	1980	21.2	19.7	14	9.61	6.7	1.81	2.14	2.97	2.48	10.3	9.36	20.3	21.2
18	1981	27.9	25	18.7	12	8.01	2.67	2.9	5.06	4.91	10.4	11.5	19.3	27.9
19	1982	30.7	24.5	20.5	12.2	5.56	3.49	3.63	7	7.57	9.18	14.4	20.1	30.7
20	1983	32.5	21	16.4	13.4	5.52	4.28	2.46	6.88	8.36	9.25	16	20.7	32.5
21	1984	44	26.1	29	13	8	6	2	9	1	17.2	14	14	44.0
22	1985	23	37	25	17	16	13	0	7.2	12	33	26	20	37.0

23	1986	18.4	40.2	26.4	25.6	4.1	0	2.9	2	6.1	6	16	14	40.2
24	1987	28	24	29	12	0.8	5.7	6.2	3.2	11.5	21.1	23.2	4.6	29.0
25	1988	14	9.8	23.2	26.2	5.4	0.4	2	0	10	19.4	3.8	10.5	26.2
26	1989	33.6	23.5	24.3	39.5	0.1	1.8	4.2	8.2	11.4	6.4	14.2	18.6	39.5
27	1990	18.5	10.8	18.3	14	19.3	24.6	0	5	3.7	32.2	23.7	29	32.2
28	1991	19.8	20.5	15.6	14.8	16.8	25.8	2.8	2.6	5.2	19.2	12.4	19.4	25.8
29	1992	28.8	17.1	21.4	6.4	0	1.4	1.4	30.7	1.8	9.8	16.8	12.6	30.7
30	1993	26.7	7.8	19.8	14.4	1.5	1	0	18.2	10.8	9.8	28.8	17.8	28.8
31	1994	26.1	13.3	30.4	14.6	14.8	0	0	0	5	4.8	11.8	19.1	30.4
32	1995	23	14.9	17.9	5.6	4.8	0	0	4.2	7.4	5.2	18.2	13.4	23.0
33	1996	28.2	21.2	7.4	13.4	2	0	4.4	14	5.8	5.7	21.4	11.7	28.2
34	1997	36.9	27	16.6	14.4	0.5	0	0	14.5	32.7	12.2	19.7	22.1	36.9
35	1998	13.5	20.6	19.5	18.5	0	4.5	0	0.1	3.2	12.2	16.2	10	20.6
36	1999	10.5	26.7	27.6	26	14.6	0.6	1.5	3.9	12.2	39.7	11.8	12.1	39.7
37	2000	26.1	18.4	27.6	9.2	3.3	2.2	9.3	3.4	2.8	18	1	20.3	27.6
38	2001	36.2	25.7	26.5	11.5	1.5	0.1	8	8.6	4.8	27.7	19.1	30.8	36.2
39	2002	26.8	29.1	23.7	19.7	9.9	12	13.8	4.8	4.4	16.5	18.5	33.2	33.2
40	2003	24.5	8.7	26.1	5.5	9.4	0.5	0	5	16.7	6.1	6.6	19.8	26.1
41	2004	28	28.7	10	6	10.2	1.6	8.5	16.8	10	1	5.7	18.4	28.7
42	2005	22.6	17.5	14.4	10	8.3	0	0	0	5.2	23.2	10.8	22.2	23.2
43	2006	46	21.8	26.9	12.4	2.4	3	0	7	16.2	12.8	25.6	19.7	46.0
44	2007	20.2	26.9	29.3	28.7	2	2.1	7.3	5.2	7.5	9	9.2	19.4	29.3
45	2008	38.1	13.5	14.4	11.8	1	1.4	7.2	3.1	1.4	14.1	0.3	18.4	38.1
46	2009	23	31	23	36	0	0	4.6	0	17.6	13	22.4	19.4	36.0
47	2010	27.4	20	13.2	19.8	19	0	0	8.7	1.2	17.7	5.4	0	27.4
48	2011	999	43.7	20.9	2.6	3.3	0	4.2	0	7.8	6.9	5.7	19.5	43.7
49	2012	22.3	36.1	35.8	14.9	0	1.2	0	3.7	12	1.4	25.6	27.9	36.1
50	2013	22.3	29.1	16.6	9.8	10.6	11.8	3.1	3.4	2.5	12.6	5.7	21.4	29.1
51	2014	33.3	20.5	6.9	7.6	0	0	2.3	10.2	30.7	14.1	10.7	24.4	33.3
52	2015	20.1	28.4	28.9	18.2	4.8	0	5.1	6.2	20.5	9.1	4.2	30.5	30.5

53	2016	28.6	17.4	16.4	17.6	3.4	2.2	6.4	2.2	1.2	10.3	5.3	24.4	28.6
54	2017	29.1	17.6	16.4	12.5	16.2	7.9	13.1	0	16.2	7.6	21.1	26.8	29.1
55	2018	15.9	29.1	26.1	18.1	3.8	13.8	19.2	1.6	0	18.9	1	17.5	29.1
56	2019	23.5	18.2	9.9	13.5	6.4	1.9	6.9	0	17.5	19.3	28.7	30.8	30.8
57	2020	15.1	28.6	10.6	0	0	0.2	0	0	12.6	9.4	15.6	33.4	33.4
58	2021	32.7	13.2	23.8	16.2	11.6	0	0	7.1	17.1	18.7	20.4	22.5	32.7
59	2022	25.3	24.7	13.8	7.2	0	5.3	0	0.7	0	0	0	0	0

Anexo 4: Instrumento de recolección de datos

ANEXO 3: PRECIPITACIONES DE 24 HORAS (mm)

Departamento: Puno Provincia: El Collao Distrito: Ilave Estación: Ilave Estación: Ilave
 Latitud: Longitud: Altitud: Código: Tipo:

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	max
1980														
1981														
1982														
1983														
1984														
1985														
1986														
1987														
1988														
1989														
1990														
1991														
1992														
1993														
1994														
1995														
1996														
1997														
1998														
1999														
2000														
2001														
2002														
2003														
2004														
2005														
2006														
2007														
2008														
2009														
2010														
2011														
2012														
2013														
2014														
2015														
2016														
2017														
2018														
2019														
2020														

N Datos

Promedio

Fuente: SENAMHI (2020)


 ING. DARWIN DEZA RAMOS
 RESIDENTE DE OBRA
 INGENIERO CIVIL C.I.P. 128272

ANEXO 3: PRECIPITACIONES DE 24 HORAS (mm)

Departamento: Puno Provincia: El Collao Distrito: Ilave Estación: Ilave Estación: Ilave
 Latitud: Longitud: Altitud: Código: Tipo:

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	max
1980														
1981														
1982														
1983														
1984														
1985														
1986														
1987														
1988														
1989														
1990														
1991														
1992														
1993														
1994														
1995														
1996														
1997														
1998														
1999														
2000														
2001														
2002														
2003														
2004														
2005														
2006														
2007														
2008														
2009														
2010														
2011														
2012														
2013														
2014														
2015														
2016														
2017														
2018														
2019														
2020														

N Datos:

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Promedio: Fuente: SENAMHI (2020)


Leonel Coyla Idme.
 Ing. Civil
 CIP. 46981

Anexo 5: Certificado de validación del instrumento recolección de datos

10155450 # 2017

Anexo 4. Certificado de validación del instrumento de recolección de datos

1. DATOS GENERALES
 Apellidos y nombres de experto : Darwin Deza Mesa
 N° de registro de CIP : 128272
 Especialidad : (Ingeniero Civil)
 Autor del instrumento : Br. Paredes Quispe, Juan R.
 Instrumento de evaluación : Precipitaciones de 24 horas de los meses de enero a diciembre de los últimos 30 años, además de considerar: departamento, provincia, distrito, estación, latitud, longitud, altitud, código tipo en mm.

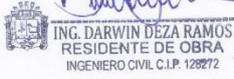
2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN
 MUY DEFICIENTE(1) DEFICIENTE(2) ACEPTABLE(3) BUENA(4) EXCELENTE(5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los items redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los items del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable CAUDAL en todas sus dimensiones e indicadores					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable en estudio					X
ORGANIZACIÓN	Los items reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable de manera que permiten realizar inferencias y objetividad					X
SUFICIENCIA	Los items del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores					X
INTENCIONALIDAD	Los items del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables en estudio				X	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los items del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de investigación				X	
COHERENCIA	Los items del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable en estudio					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación					X
PERTINENCIA	La relación de los items concuerda con la escala valorativa del instrumento					X
PUNTAJE TOTAL						48

(Nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo un puntaje menor se considera al instrumento no válido ni aplicable)

3. OPINIÓN DE APLICABILIDAD :

4. PROMEDIO DE VALORACIÓN : 4.8



 ING. DARWIN DEZA RAMOS
 RESIDENTE DE OBRA
 INGENIERO CIVIL C.I.P. 128272

Anexo 4. Certificado de validación del instrumento de recolección de datos

1. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres de experto: Leonel Coyla Idme

N° de registro de CIP: 46961

Especialidad: Ingeniero Civil

Autor del instrumento: Br. Paredes Quispe, Juan R.

Instrumento de evaluación: Precipitaciones de 24 horas de los meses de enero a diciembre de los últimos 30 años, además de considerar: departamento, provincia, distrito, estación, latitud, longitud, altitud, código tipo en mm.

2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE(1) DEFICIENTE(2) ACEPTABLE(3) BUENA(4) EXCELENTE(5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable CAUDAL en todas sus dimensiones e indicadores					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable en estudio					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable de manera que permiten realizar inferencias y objetividad					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables en estudio					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de investigación					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable en estudio					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación					X
PERTINENCIA	La relación de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento					X
PUNTAJE TOTAL						50

(Nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo un puntaje menor se considera al instrumento no válido ni aplicable)

3. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

4. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 5.0


Leonel Coyla Idme
 Civil
 CIP. 46961

Anexo 6: NORMAS Y LEYES DEL RECURSO HÍDRICO

LEY DE RECURSOS HÍDRICOS **LEY N° 29338**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:
EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;
Ha dado la Ley siguiente:

LEY DE RECURSOS HÍDRICOS

TÍTULO PRELIMINAR

Artículo I.- Contenido

La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

Artículo II.- Finalidad

La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

SEGUNDA.- Disposiciones necesarias para implementación de la Ley

En tanto se apruebe el Reglamento, facúltase a la Autoridad Nacional para dictar las disposiciones que sean requeridas para la implementación de la presente Ley.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

ÚNICA.- Disposición derogatoria

Deróganse el Decreto Ley N° 17752, la tercera disposición complementaria y transitoria del Decreto Legislativo N° 1007, el Decreto Legislativo N° 1081 y el Decreto Legislativo N° 1083; así como todas las demás disposiciones que se opongan a la presente Ley.

Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.

En Lima, a los veintitrés días del mes de marzo de dos mil nueve.

JAVIER VELÁSQUEZ QUESQUÉN

Presidente del Congreso de la República

ALEJANDRO AGUINAGA RECUENCO

Primer Vicepresidente del Congreso de la República

AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE
LA REPÚBLICA

POR TANTO:

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de marzo del año dos mil nueve.

Anexo 7: NORMAS Y LEYES DEL RECURSO HÍDRICO



MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE



Anexo 7: NORMAS Y LEYES DEL RECURSO HÍDRICO

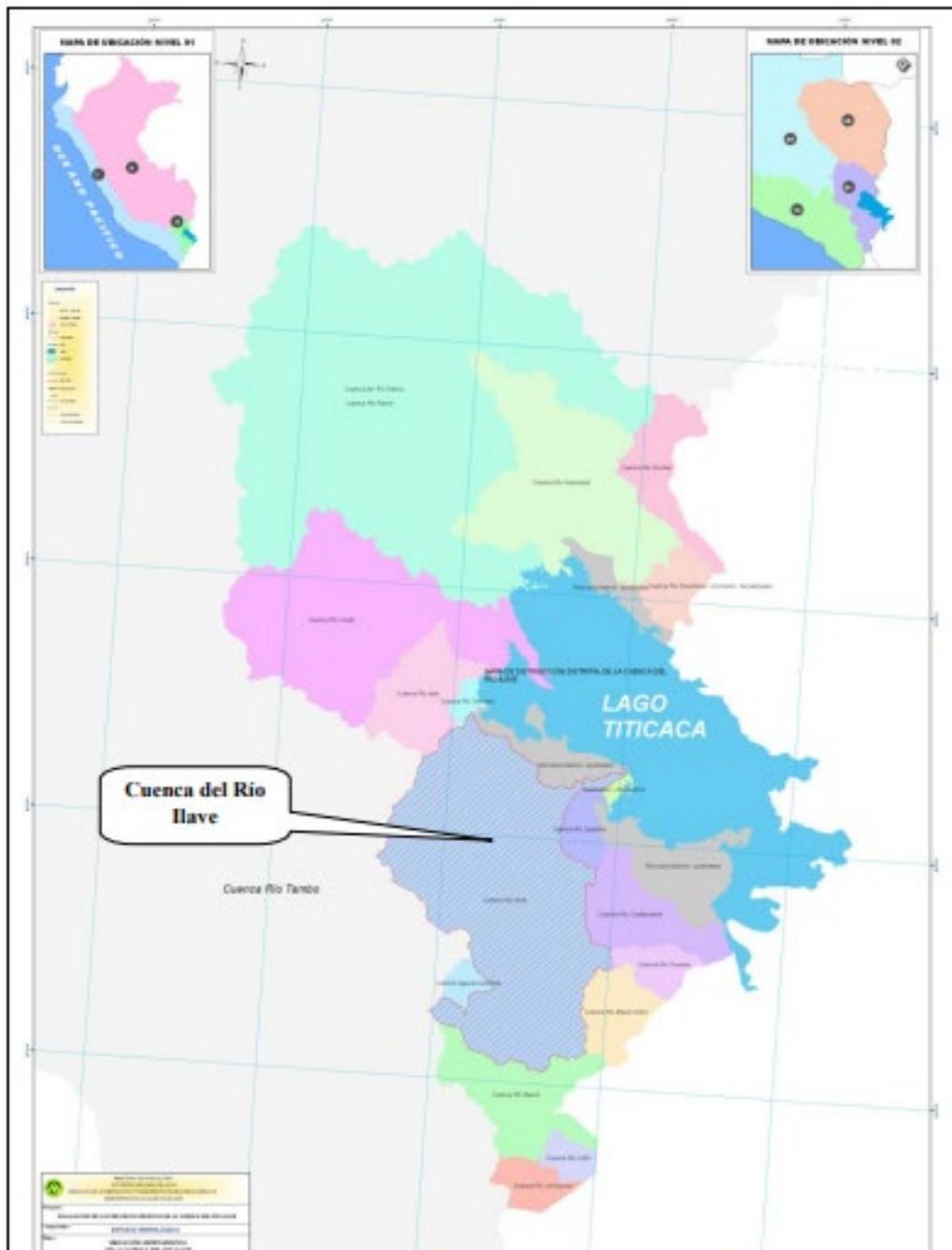


MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE

ÍNDICE

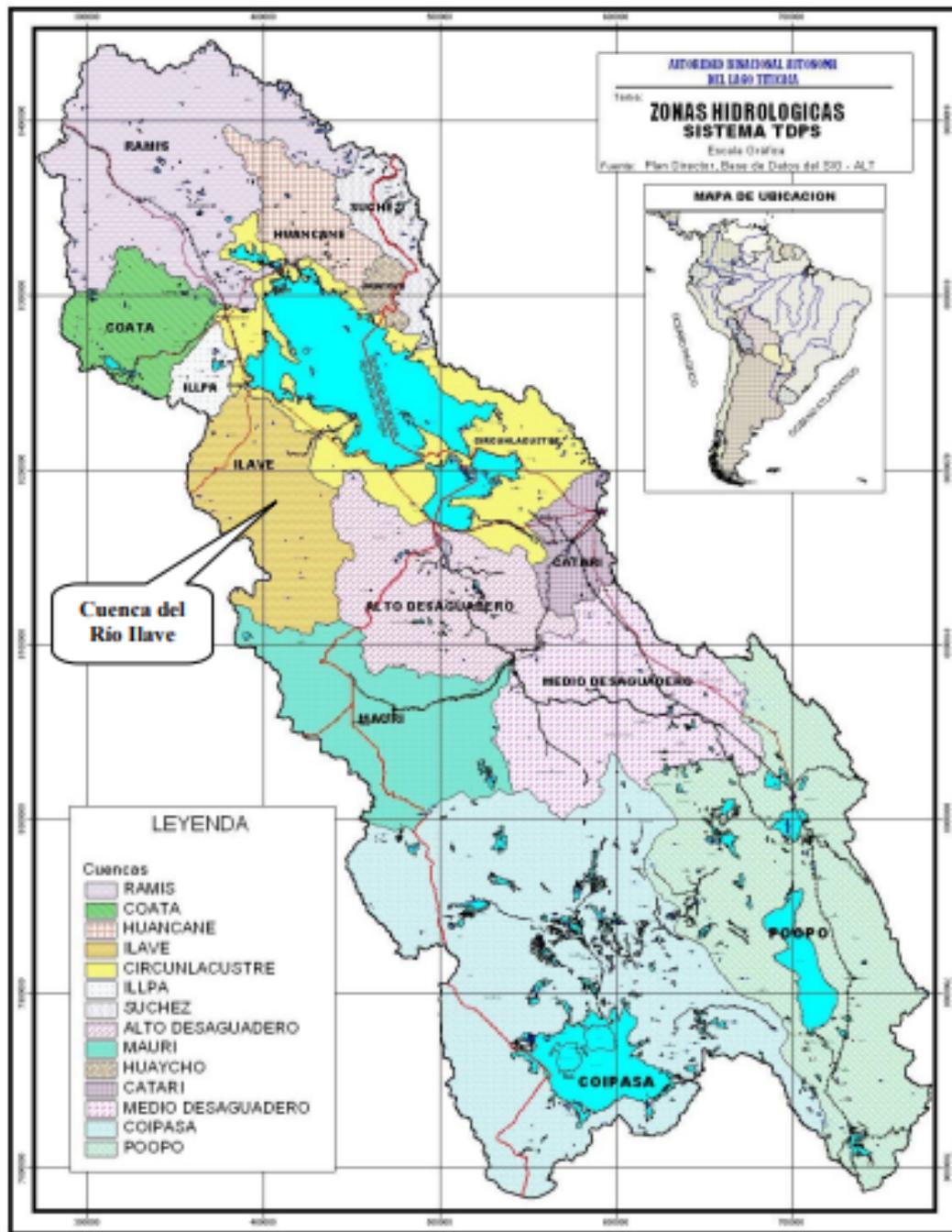
CAPITULO I	
I. INTRODUCCIÓN.....	12
CAPITULO II	
II. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo.....	16
2.1.1 Objetivo General.....	16
2.1.2 Objetivos Específicos.....	16
2.2 Antecedentes.....	16
CAPITULO III	
III. HIDROLOGÍA.....	19
3.1 Alcances	19
3.2 Factores Hidrológicos y Geológicos que inciden en el Diseño Hidráulico de las Obras de Drenaje.....	20
3.3 Estudios de Campo	20
3.4 Evaluación de la Información Hidrológica	21
3.5 Área del Proyecto - Estudio de la(s) Cuenca(s) Hidrográfica(s)	22
3.6 Selección del Período de Retorno	23
3.7 Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos.....	25
3.7.1 Modelos de distribución	25
3.7.1.1 Distribución Normal	26
3.7.1.2 Distribución Log Normal 2 Parámetros	26
3.7.1.3 Distribución Log Normal 3 Parámetros	27
3.7.1.4 Distribución Gamma 2 Parámetros	28
3.7.1.5 Distribución Gamma 3 Parámetros	28
3.7.1.6 Distribución Log Pearson Tipo III	29
3.7.1.7 Distribución Gumbel	29
3.7.1.8 Distribución Log Gumbel	30
3.7.2 Pruebas de bondad de ajuste	30
a) Prueba χ^2	30
b) Prueba Kolmorov – Smirnov	32
3.8 Determinación de la Tormenta de Diseño	33
3.8.1 Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	33
3.9 Tiempo de Concentración	38
3.10 Hietograma de Diseño	40
3.10.1 Método del Bloque Alterno	41
3.11 Precipitación total y efectiva	42
3.11.1 Método SCS para abstracciones	42
3.12 Estimación de Caudales.....	48

Ubicación Hidrográfica de la Cuenca del río Ilave



Anexo 8: MAPAS DE UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO ILAVE

Ubicación Hidrográfica de la Cuenca del río Ilave en el Sistema TDPS



Anexo 9: LUGARES DE ORIGEN DE LA CUENCA DEL RÍO ILAVE

En las figuras siguientes se muestran las quebradas que son nacientes de los ríos y los manantiales, que dan fuente de agua en la cuenca.

Quebradas



Manantiales



En la parte alta de la cuenca, se encuentran en mayor extensión los bofedales, que son fuentes de agua para la alimentación del ganado de los camélidos sudamericanos, generalmente.

Bofedales Subcuenca Huenque



Bofedales subcuenca Aguas Calientes



Anexo 9: LUGARES DE ORIGEN DE LA CUENCA DEL RÍO ILAVE



En la parte alta de la cuenca se encuentran depósitos de agua en lagunas naturales, los cuales representan fuentes de agua permanente del sistema.



En las figuras siguientes se muestran los cauces principales de las subcuencas, en la cuenca del río Ilave.



Anexo 10: EL RÍO ILAVE PASANDO POR LA CIUDAD DE ILAVE



Imagen 1. Mirador de llave, se aprecia el puente internacional de llave en el cruce del río



Imagen 2. Mirador de llave, se aprecia el cauce del río llave hacia el lago Titicaca



Imagen 3. Mirador de llave, se aprecia el cauce del río llave hacia el oeste

RESULTADOS VERIFICADOS Y APROBADOS POR UN EXPERTO

Tabla 4. Precipitaciones máximas en mm/día/año de la cuenca leve 1964-1998

año	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
precipMax (mm/día/año)	17.8	20.5	20.6	21.6	21.5	22	22.2	24.3	25.8	26.1	26.7	27	27.4	27.6	27.9
año	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
precipMax (mm/día/año)	28.7	28.6	28.7	28.8	29	29.1	29.1	29.1	29.3	29.1	29.4	29.5	29.7	29.7	29.8
año	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
precipMax (mm/día/año)	32.1	32.32	32.7	33	33.2	33.3	33.4	33.5	34	34	34.2	35.5	36	36.1	36.2
año	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11		
precipMax (mm/día/año)	36.1	36.3	37	38.1	38.5	38.7	40.2	40.5	41	42.1	44	45	46		

Fuente: SENAMHI – Puno, elaboración del investigador

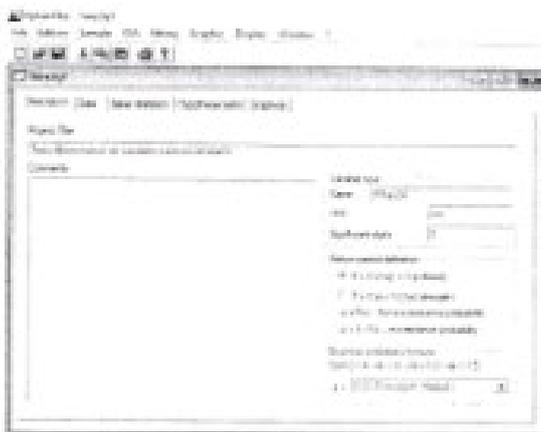


Figura 1. Menú de presentación del software HyFranPlus.

En la Figura 1, se muestra el menú de presentación del software HyFranPlus, es un software que permite ajustar datos a distribuciones de probabilidades. Incluye un conjunto de opciones matemáticas, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de una serie de datos.



Figura 2. Menú de ingreso y edición de datos en HyFranPlus.

En la Figura 2, se muestra el menú de ingreso y edición de datos en el software HyFranPlus, el mismo que se utilizó para la recuperación de datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave, desde la hoja electrónica MSEXcel.

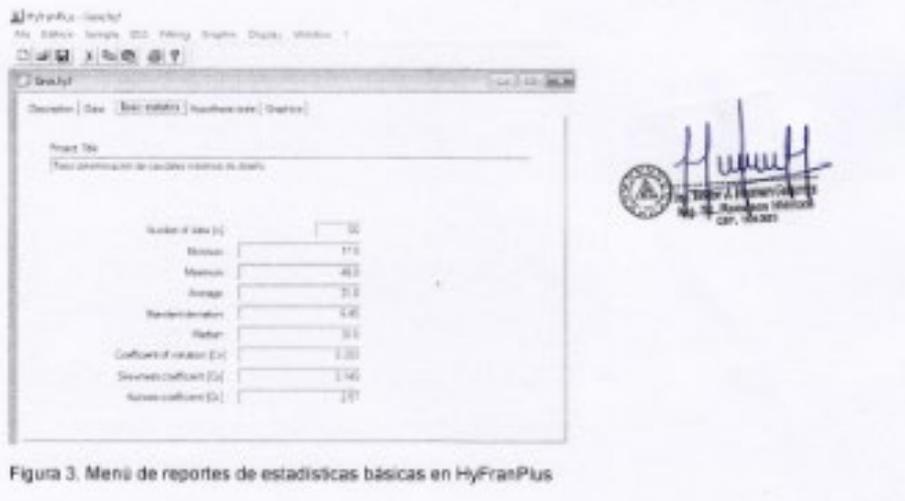


Figura 3. Menú de reportes de estadísticas básicas en HyFranPlus

En la Figura 3, se muestra el menú de reportes de los resultados de las estadísticas básicas en el software HyFranPlus, dentro de los que destacan el números de datos ingresados, el mínimo, el máximo, el promedio, la desviación estándar, la mediana, el coeficiente de variación, el coeficiente de sesgo y el coeficiente de agrupamiento.



Figura 4. Menú de la prueba de bondad a la distribución Gumbel en HyFranPlus

En la Figura 4, se muestra el menú de los cálculos en HyFranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Gumbel mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave

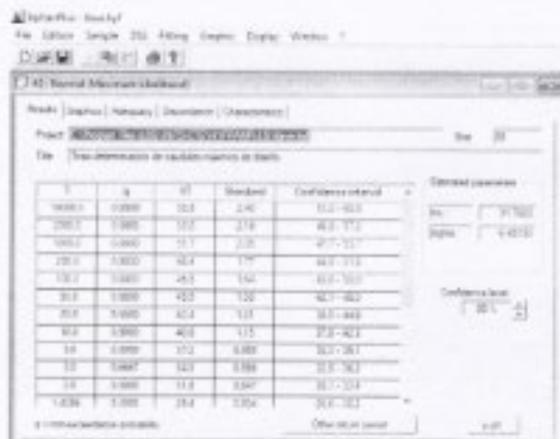


Figura 5. Menú de la prueba de bondad a la distribución Normal en HyfranPlus

En la Figura 5, se muestra el menú de los cálculos en HyfranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Normal mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río Ilave



Figura 6. Menú de la prueba de bondad a la distribución Pearson tipo II en HyfranPlus

En la Figura 6, se muestra el menú de los cálculos en HyfranPlus de los parámetros para la prueba de bondad de ajuste a la distribución de probabilidad de Pearson Tipo III mediante el método de máximo verosimilitud a partir de los datos de precipitaciones máximas de la cuenca del río llave

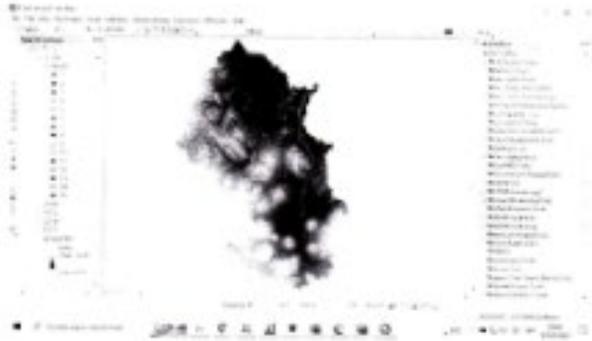


Figura 7. Menú de captura de imagen de la cuenca del río llave en GeoHMS

En la Figura 7, se muestra el menú de captura en el software GeoHMS de la cuenca del río llave a través de los puntos de nivel abstraídos de un georeferencial publicado por el Ministerio de Educación del Perú, además es el primer paso para determinar los parámetros mínimos para el cálculo de caudales máximos, como son las longitudes, los bloques las direcciones y las áreas de la cuenca llave.



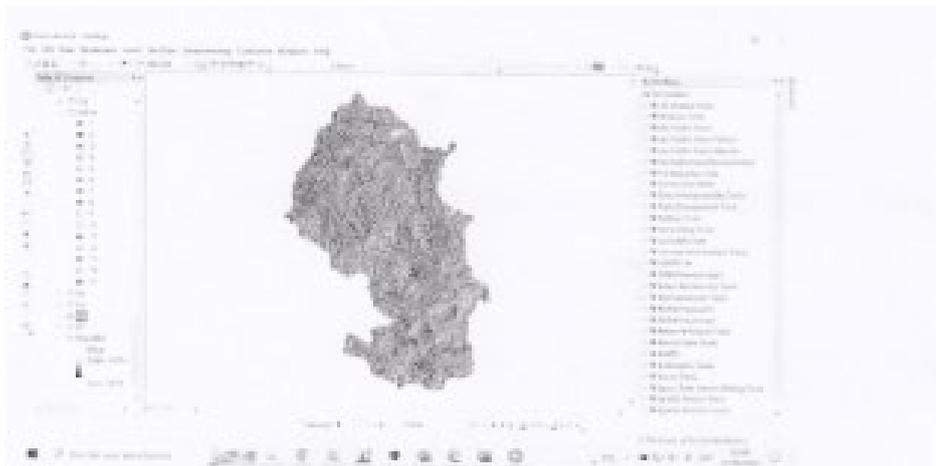


Figura 8. Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en GeHMS

En la Figura 8, se muestra el menú de reconocimiento de bloques en el software GeHMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el segundo paso para determinar los parámetros mínimos para el cálculo de caudales máximos, como son las longitudes, los bloques las direcciones y las áreas de la cuenca llave.

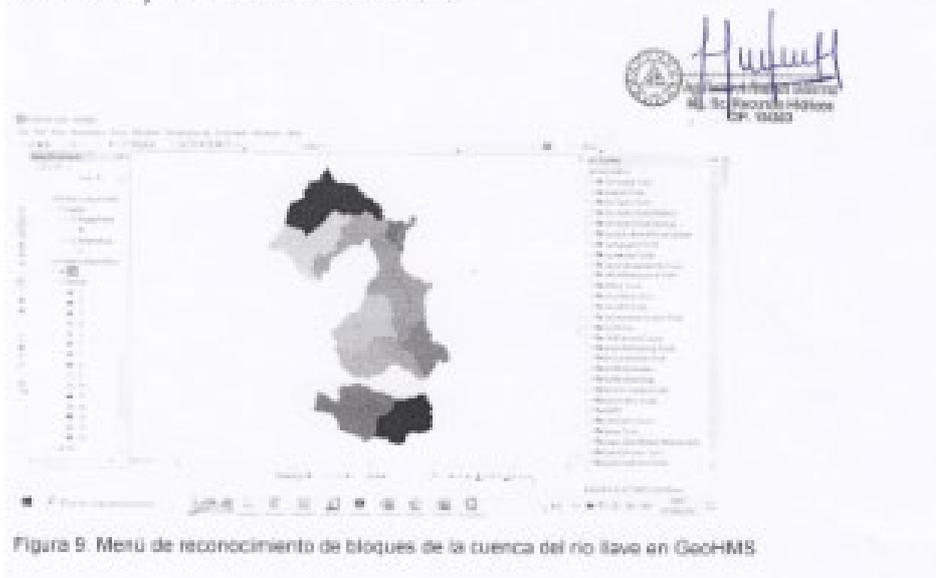


Figura 9. Menú de reconocimiento de bloques de la cuenca del río llave en GeHMS

En la Figura 9, se muestra el menú de reconocimiento de bloques en el software GeohMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el tercer paso para determinar los parámetros mínimos, además con el reconocimiento de bloques se encontraron catorce mini cuencas en la cuenca del río llave.



Figura 10. Menú de reconocimiento mini cuencas de la cuenca del río llave en GeohMS

En la Figura 10, se muestra el menú de reconocimiento de mini cuencas en el software GeohMS de la cuenca del río llave a través de las cotas de nivel reconocidas en el programa, siendo el cuarto paso para determinar los parámetros mínimos, además con el reconocimiento de mini cuencas se encontraron catorce mini cuencas en la cuenca del río llave.



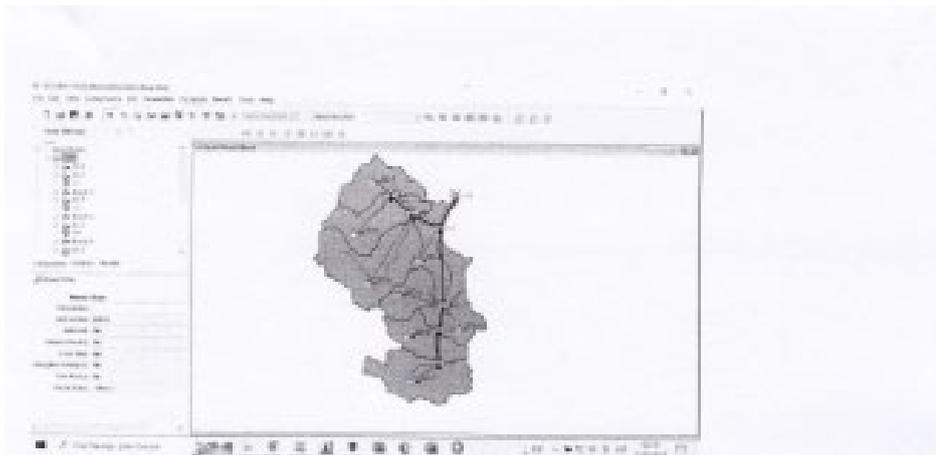


Figura 11. Menú de reconocimiento de imagen de la cuenca del río llave en HechMS

En la Figura 11, se muestra el menú de reconocimiento de la imagen en el software HechMS de la cuenca del río llave a través del software GeoHMS con todas las características de reconocimiento de mini cuencas que se encontraron como son las catorce mini cuencas en la cuenca del río llave. El software se encarga de estimar a través de métodos matemáticos las aproximaciones de caudales máximos a partir de las precipitaciones pluviales en esta cuenca. Para ello se reportaron caudales máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, considerando distintas distribuciones de probabilidad.


 HechMS
 HechMS
 HechMS



Figura 12. Menú de reportes de caudales máximos de la cuenca del río llave en HechMS

En la Figura 12, se muestra el menú de reportes de las estimaciones del área aproximada, perímetros y caudales de la cuenca llave en el software HechMS de la cuenca del río llave. El software se encarga de estimar a través de métodos matemáticos las aproximaciones de caudales máximos a partir de las precipitaciones pluviales en esta cuenca. Para ello se reportaron caudales máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, considerando distintas distribuciones de probabilidad.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VARGAS CHACALTANA LUIS ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca llave, Puno – 2022", cuyo autor es PAREDES QUISPE JUAN REYNALDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 27.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 07 de Octubre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VARGAS CHACALTANA LUIS ALBERTO DNI: 09389936 ORCID: 0000-0002-4136-7189	Firmado electrónicamente por: LAVARGASV el 08- 10-2022 08:27:46

Código documento Trilce: TRI - 0432925