



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DISEÑO DE
OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA CONDURIRI**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. FRANZ REQUELMER RAMOS BAUTISTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA CONDURIRI

AUTOR

FRANZ REQUELMER RAMOS BAUTISTA

RECuento DE PALABRAS

17708 Words

RECuento DE CARACTERES

92518 Characters

RECuento DE PÁGINAS

87 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.1MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 14, 2023 10:19 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 14, 2023 10:20 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 17% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)


ING. OSCAR R. MAMANI LUQUE
C.I.P. N° 40357
M.Sc. Ingeniería de Recursos Hídricos

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Al apoyo incondicional de mis padres Ilda Margarita Bautista Quispe y Víctor Raúl Ramos Ticona, pilares fundamentales en mi vida. Que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar un gran meta. Los quiero mucho.

A mis hermanos: Edy Omar, Beatriz, por su apoyo, aliento, comprensión y por ser parte de mi vida. Este logro también es de ustedes.

FRANZ REQUELMER



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo y mi más sincero agradecimiento y gratitud a:

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, alma mater del desarrollo intelectual y profesional, esperanza de la nación. A la Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por permitirme ser profesional.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola quienes impartieron sus conocimientos durante toda mi formación profesional. Que, en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos gracias.

A los miembros del jurado calificador: Dr. Lorenzo Gabriel, CIEZA CORONEL, Dr. Edilberto Huaquisto Ramos y al Dr. José Antonio Mamani Gomez.

Al M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, por su apoyo como director, en la presente investigación.

Gracias también a mis queridos compañeros, a los amigos y compañeros de estudios con quienes compartimos cinco años de estudios y que de alguna manera contribuyeron a la culminación de mis estudios.

FRANZ REQUELMER



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 16

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 17

1.3.1 Hipótesis general 17

1.3.2 Hipótesis específicas 17

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 17

1.5 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 20

1.5.1 Objetivo general 20

1.5.2 Objetivos específicos 20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 21

2.1.1 Nivel internacional 21

2.1.2 Nivel nacional 22



2.1.3	Nivel local	23
2.2	MARCO TEORICO	25
2.2.1	Cuenca hidrográfica	25
2.2.1.1	Área total de la cuenca	26
2.2.1.2	Áreas parciales	26
2.2.1.3	Perímetro de la cuenca	27
2.2.1.4	Longitud del rio considerando el más largo	27
2.2.1.5	Longitudes parciales de un rio	28
2.2.1.6	Pendiente de la cuenca	28
2.2.1.7	Elevación media de la cuenca	29
2.2.1.8	Orden de corrientes	29
2.2.1.9	Razón de bifurcación (Rb)	30
2.2.1.10	Forma de la cuenca.....	30
2.2.1.11	Longitud media de las corrientes	30
2.2.1.12	Razón de longitudes	31
2.2.1.13	Curva hipsométrica	31
2.2.1.14	Altitud media ponderada	31
2.2.2	Parámetros hidráulicos	32
2.2.3	Profundidad de socavación	32
2.2.4	Caudal de diseño.....	33
2.2.5	Variables hidrológicas	33
2.2.6	Precipitaciones.....	34
2.2.7	Análisis de máximas avenidas	34
2.2.8	Relación precipitación – escorrentía	35
2.2.9	Tiempo de retorno	35



2.2.10 Hidrograma unitario	35
2.2.11 Coeficiente de escorrentía	35

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	37
3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	37
3.3 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3.1 Método de investigación	39
3.3.2 Tipo de investigación	39
3.3.3 Nivel de investigación	40
3.3.4 Diseño de investigación	40
3.4 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO Y UNIDAD DE ANÁLISIS	40
3.4.1 Población	40
3.4.2 Muestra	41
3.4.3 Muestreo	41
3.4.4 Unidad de análisis	41
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.5.1 Técnicas: observación directa.....	42
3.5.2 Instrumentos	42
3.6 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO	42
3.7 PROCEDIMIENTO	43
3.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	47
3.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	49



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	50
4.1.1	Caracterización geomorfológica de la subcuenca	50
4.1.2	Determinación de los caudales máximos de diseño mediante la utilización de métodos empíricos	55
4.1.3	Análisis del desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos	68
4.2	DISCUSIÓN	71
V.	CONCLUSIONES	74
VI.	RECOMENDACIONES	76
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	84

Área : Ciencias de la Ingeniería Hidrológica

Tema : Recursos Naturales y Medio Ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de abril del 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de la cuenca.....	26
Tabla 2. Operacionalización de variables	48
Tabla 3. Características de la cuenca	50
Tabla 4. Parámetros de forma de la subcuena.....	51
Tabla 5. Cálculo de pendiente media de la cuenca	54
Tabla 6. Clasificación según la pendiente.....	54
Tabla 7. Precipitaciones Máximas (Pt) mm.....	55
Tabla 8. Intensidades Máximas (I) mm/h	56
Tabla 9. Tabla de Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno	58
Tabla 10. Prueba de datos dudosos	61
Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste.....	62
Tabla 12. Análisis de consistencia - análisis estadístico.....	63
Tabla 13. Cálculo de numero de curva	64
Tabla 14. Caudales máximos método SCS	65
Tabla 15. Factor de escorrentía de Mac Math.....	65
Tabla 16. Caudal máximo de la quebrada para diferentes periodos de retorno – método Mac Math	66
Tabla 17. Cálculo del hidrograma unitario adimensional	67
Tabla 18. Prueba de estacionariedad de Sperman.....	68
Tabla 19. Comparación de valores estimados de la precipitación de 24 horas.....	69
Tabla 20. Ajuste de valores estimados.....	69
Tabla 21. Cálculo de los caudales máximos para la subcuena de Conduriri	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	38
Figura 2. Curva hipsométrica	51
Figura 3. Polígono de frecuencias de áreas parciales	52
Figura 4. Rectángulo equivalente	53
Figura 5. Pendiente del río principal.....	53
Figura 6. Hietograma o tormenta de diseño de 500 y 100 años	58
Figura 7. Curvas I-D-F	59
Figura 8. Hidrograma de precipitación anual histórica – estación Mazocruz SC.....	60
Figura 9. Hidrograma de precipitación con datos completados – estación Mazocruz ..	60
Figura 10. Hidrograma de registro histórico.....	61
Figura 11. Frecuencia relativa, acumulada y función de densidad.....	63
Figura 12. Hidrograma unitario	68
Figura 13. Ajustes de las precipitaciones de 24 horas	70
Figura 14. Área de bofedales	85
Figura 15. Aforo del río Chichillapi	85



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGRORURAL : Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural

GIRH : Gestión Integrada del Recurso Hídrico

GPS : Sistema de Posicionamiento Global

ONG : Organismos no Gubernamentales

SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

SIG : Sistema de Información Geográfica

UNAP : Universidad Nacional del Altiplano Puno



RESUMEN

El estudio hidrológico es importante para el diseño de estructuras hidráulicas y en materia de prevención y gestión de riesgos. El objetivo principal es determinar el caudal máximo de diseño mediante métodos probabilísticos convencionales en la subcuenca Conduriri. La metodología empleada es el método científico, investigación aplicada, a nivel explicativo, diseño no experimental, la población es la subcuenca del río Conduriri. La caracterización geomorfológica es: área 625.498 km², perímetro 131.881 km, longitud del río 30.117 km, pendiente 7.495 %, cotas 5331.00 a 3997.00 msnm. El análisis de precipitación de 24 horas corregida, considera el tiempo de retorno de 50, 100 y 200 años, las precipitaciones son 49.940, 54.210 y 58.390 mm respectivamente, la distribución que más se ajusta es la distribución Gamma corregida. El caudal máximo por el método de Mac-Math fue de 111.845, 121.393 y 130.941 m³/s; y el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) fue de 340.253, 431.451 y 512.886 m³/s. Los caudales calculados son homogéneos, estadísticamente no existe diferencia entre los caudales calculados para los diferentes tiempos de retorno (p-valor: 0.2547) y el método empleado (p-valor: 0.6024). Finalmente, es necesario considerar los caudales máximos para el diseño de proyectos hidráulicos.

Palabras clave: Caudales máximos, cuenca, periodo de retorno y río Conduriri.



ABSTRACT

The hydrological study is important for the design of hydraulic structures and for risk prevention and management. The main objective is to determine the maximum design flow using conventional probabilistic methods in the Conduriri sub-basin. The methodology used is the scientific method, applied research, at an explanatory level, non-experimental design, the population is the Conduriri river sub-basin. The geomorphological characterization is: area 625.498 km², perimeter 131.881 km, length of the river 30.117 km, slope 7.495 %, elevations 5331.00 to 3997.00 masl. The corrected 24-hour precipitation analysis considers the return time of 50, 100 and 200 years, the precipitations are 49,940, 54,210 and 58,390 mm respectively, the distribution that best fits is the corrected Gamma distribution. The peak flow by Mac-Math method was 111,845, 121,393 and 130,941 m³/s; and the Soil Conservation Service (SCS) method was 340,253, 431,451 and 512,886 m³/s. The calculated flows are homogeneous, statistically there is no difference between the flows calculated for the different return times (p-value: 0.2547) and the method used (p-value: 0.6024). Finally, it is necessary to consider peak flows for the design of hydraulic projects.

Keywords: Maximum flows, basin, return period and Conduriri river.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En nuestro país estos eventos extremos máximos se presentaron en los fenómenos de El Niño, ocurridos en los años 1983 y 1998 respectivamente; en donde causaron daños considerables a la infraestructura hidráulica, es así que, en el año 1983, 55 puentes fueron afectados o destruidos, en el año 1998 existió 58 puentes arruinados Colegio de ingenieros del Perú (1998).

La experiencia mundial y nacional indican que la acción de las máximas avenidas es el origen fundamental de las fallas que acontecen en los puentes (Jain & Singh, 2019; Mackenzie, 2019). En consecuencia, el análisis de los caudales máximos es primordial para el planteamiento y detalle de los puentes y por consiguiente la prevención de fallas de los mismos (Melesse et al., 2019; Singh, 2017). Los caudales máximos son acontecimientos producidos por el aspecto eventual de las descargas de los cursos de agua, es decir, que cada crecida va agrupada a una posibilidad de suceso y son muy variables en el tiempo (Singh, 2017; Singh, 2018).

El sistema hidrológico del río Conduriri actualmente no cuenta con investigaciones referente a aspectos hidrológicos e hidráulicos, además, no se cuenta con información hidrométrica, esto hace que se debe de implementar y estar apoyándose con estudios similares para tener como línea base, en donde se caracteriza este estudio con caudales estimados a partir de métodos probabilísticos.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Puno, provincia de El Collao, distrito de Conduriri, se encuentra la subcuenca del río Conduriri, En esta subcuenca, en temporada de lluvias extraordinarias se incrementan eso hace que se provoquen desbordamientos causando inundaciones a lo largo del río. Es por ello que se indica que en la parte alta de la cuenca llave hay áreas vulnerables que son afectadas por desbordamientos provocando inundaciones, que generan pérdidas económicas. El planteamiento de obras hidráulicas de mitigación no es insuficiente y son superadas por los caudales máximos. Asimismo, en esta subcuenca se tienen estudios relacionados, pero no son implementados, para mitigar las inundaciones que ocurre en la cuenca del río llave.

Para la generación de caudales punta es importante plantear el problema, explicando como problema general: ¿Cuál es el caudal máximo de diseño, utilizando métodos hidrológicos en la subcuenca Conduriri?, como problemas específicos; En primer lugar, ¿cuáles son las características geomorfológicas de la subcuenca Conduriri? ; segundo, ¿cuál es la descarga máxima de diseño, utilizando el método de agua unitaria SCS triangular sobre la subcuenca Conduriri? ; y tercero, ¿Cómo va el desarrollo de modelos probabilísticos para calcular caudales máximos en la subcuenca Conduriri?

Continuando la secuencia del reciente modelo de tesis, tenemos la justificación del problema; del método teórico es que en la tesis se consigna la teoría de la precipitación-caudal-variación del caudal, tal conjetura o teoría permite conocer la relación entre la respuesta hidrológica de la cuenca con sus parámetros morfológicos y físicos. Desde un punto de vista práctico, los resultados de la investigación facilitarán el suministro de los datos de probabilidad requeridos para el diseño de obras hidráulica en la microcuenca del río Conduriri. metodológicamente, en esta tesis se utiliza la variable



independiente “método hidrológico” y su influencia en la variable dependiente “inundación máxima”.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los caudales máximos son acontecimientos producidos por el aspecto eventual de las descargas de los cursos de agua, es decir, que cada crecida va agrupada a una posibilidad de suceso y son muy variables en el tiempo (Singh, 2017; Singh, 2018).

En nuestro territorio peruano y a nivel mundial se presentan máximas avenidas en los últimos cinco años, muy severos afectando la economía local, los mismos afectando las obras hidráulicas a su paso.

La variable métodos hidrológicos se tienen: el hidrograma unitario de Clark, hidrograma unitario triangular SCS, método Mac-Math, estos métodos son los más empleados para estimar los caudales máximos de diseño en cuencas, se basan en que la cuenca actúa como un operador que transforma la precipitación en escorrentía y finalmente a caudal (Flores, 2020; Mamani, 2014; Mamani, 2021).

En cuanto a la variable de caudales máximos de diseño se ha empleado el método probabilístico, en vista de que en el área de estudio no existen mediciones hidrométricas, para lo cual se analizaron la precipitación, los métodos empleados y se obtuvieron los hidrogramas de crecidas para los distintos tiempos de retorno.



1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

Los caudales máximos ayudarán como datos de investigación para el diseño de obras hidráulicas en la subcuenca Conduriri

1.3.2 Hipótesis específicas

Mediante la caracterización geomorfológica de la microcuenca, nos permitirá entender los problemas físicos de la microcuenca.

Existe una diferencia estadística entre los diferentes métodos para determinar los caudales máximos de diseño para la utilización de métodos empíricos.

El análisis de los modelos empíricos y los modelos probabilísticos nos darán escenarios para los diferentes tiempos de retorno.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El caudal máximo que se registra durante eventos extremos, supera los valores medios normales. La predicción de la magnitud de la creciente para el diseño de obras hidráulicas, ha sido siempre motivo de controversia debido a que los métodos analizados como caudales máximos, debiendo realizar una proyección con escenarios asociados a los tiempos de retorno, aplicando teoría de probabilidades, con un alto grado de incertidumbre (Aguilera, 2007). Las estaciones hidrométricas registran caudales mínimos, medios y máximos que fluyen por un punto determinado de una cuenca. Esta información hidrológica permite cuantificar la oferta hídrica de la cuenca y estimar los



caudales máximos para distintos períodos de retorno, con el propósito de solucionar los problemas que implica el diseño de obras hidráulicas (Chow et al., 1994).

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

Debido a la importancia de las proyecciones hidrológicas, durante varias décadas se han estudiado, desarrollado y aplicado un número considerable de modelos y metodologías para el pronóstico del caudal (o escorrentía). Por lo tanto, los enfoques actuales se pueden clasificar en dos categorías generales: modelos "basados en procesos" y modelos "basados en datos" (Di et al., 2014; Wang, 2006). Los modelos de la primera categoría consideran principalmente los mecanismos físicos internos de los procesos hidrológicos y, por lo general, necesitan una gran cantidad de datos para la calibración y validación (Laqui, 2010; Laura et al., 2014; Lavado et al., 2009; Lavado et al., 2012; Zubieta et al., 2015; Zubieta et al., 2017), sin embargo, no siempre hay suficientes datos disponibles.

Por el contrario, los modelos "basados en datos" son esencialmente modelos de caja negra, que identifican matemáticamente la relación entre las entradas y las salidas, sin considerar el mecanismo físico interno del sistema de la cuenca de interés (Wang, 2006). Recientemente, esta categoría de modelamiento, se ha vuelto muy popular en el pronóstico de caudales, debido al aumento de la disponibilidad de los datos de las estaciones de medición, obtención de datos en tiempo real, y el aumento de la capacidad computacional con el desarrollo de métodos más robustos y técnicas informáticas



(Abudu, 2009). Además, se ha demostrado que tienen la ventaja de una formulación más sencilla que los modelos “basados en procesos” (Wang, 2006).

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

El conocimiento de los escenarios de caudal máximo ayuda a optimizar el diseño de las instalaciones de riego que tienen una relación directa con la vida útil de las citadas infraestructuras. En definitiva, tendrá un impacto positivo en la gestión de los proyectos hidráulicos que se puedan emprender en la subcuenca Conduriri.

La investigación hidrológica es importante, para conocer las características de los caudales máximos y mínimos, dependiendo de lo que se desee, en este caso particular se busca conocer el caudal máximo para diseñar instalaciones de riego como defensas fluviales, o para brindar medidas de protección para evitar futuras inundaciones en la parte media y baja de la subcuenca. Las descargas máximas deben conocerse desde el punto de vista del tiempo de retorno para generar escenarios actuales y futuros, que pueden localizarse en función de las estaciones meteorológicas existentes.

Actualmente existe poca información disponible sobre la calidad de la información hidrometeorológica, en algunos casos considerando los caudales medios, en este trabajo se realizarán los cálculos, se tendrán los caudales máximos según diferentes



métodos desarrollados y con tiempos de retorno, se danos un panorama de cómo será el comportamiento bajo los escenarios para realizar acciones en beneficio de los intereses de los pobladores de la parte media y baja de la subcuenca del Conduriri.

1.5 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Determinar los caudales máximos para diseño de obras hidráulicas en la subcuenca Conduriri

1.5.2 Objetivos específicos

Caracterización geomorfológica de la subcuenca.

Determinar los caudales máximos de diseño mediante la utilización de métodos empíricos.

Analizar el desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Esta sección describe el contexto de investigación a nivel internacional, nacional y local, relevante para el tema de investigación.

2.1.1 Nivel internacional

En Talca se desarrolló la estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule, desarrollado por Aguilera (2007), analizó la función de distribución de probabilidad de los caudales máximos se ven mayormente reflejados la función de Gumbel, considerando su uso como altamente confiable, con un coeficiente de determinación del 96,4% y descartando la función Log-Normal, debido a que dicha función presenta una sobreestimación en los valores de caudales máximos probables, no siendo recomendable su uso para caudales máximos.

En Madrid se desarrolló el análisis y selección de modelos estadísticos para el ajuste de la ley de frecuencia de caudales máximos anuales en España, desarrollado por Álvarez et al. (2014), adoptando nuevos estándares de seguridad hidrológica para las presas calculando las leyes de frecuencia de caudales máximos y su extrapolación a altos periodos de retorno.

En Chihuahua se ha desarrollado la investigación denominada metodología para el pronóstico del caudal en cuencas no aforadas, desarrollado por Preciado (2018); quién utilizó una metodología para elaborar hidrología de



diseño basada en relaciones IDF (intensidad, duración y frecuencia) y procedimientos propuestos por SCS para determinar el exceso de precipitación y diseño hidrológico, además de proponer el método de Muskingum para el transporte hidrológico, Obtuvo así un modelo hidrológico que podría simular un sistema hidrológico y obtener hidrográficas.

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

2.1.2 Nivel nacional

En la cuenca del río Cañete se ha desarrollado la investigación denominada “Aplicación de la geoestadística a modelos hidrológicos en la cuenca del río Cañete”, desarrollado por Portuguez (2017), tuvo como objetivos determinar el escurrimiento directo para varios tiempos de retorno, empleando modelos hidrológicos, para tal efecto empleo el método de transformación lluvia en escorrentía, el resultado de la simulación hidrológica obtuvo la escorrentía directa, además concluye que la simulación con el hidrograma unitario de Clark, obtiene valores apropiados, además obtienen mínimos errores en cuanto a porcentajes, por lo que indica que es el más eficiente y que sus resultados son confiables en comparación a los caudales registrados hidrométricamente.



En la ciudad de Lima se desarrolló la “Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía”, desarrollado por Chúa (2017), obtuvo un sistema informático para cálculos hidrológicos denominado HydroCal, con el sistema informático análisis de datos hidrológicos, análisis de tormentas (Relación IDF y Precipitación máxima probable), análisis de máximas y generación de lluvia escorrentía (Método Racional, Método NRSC, Hidrograma unitario, curva S y Caudal base); validó y calibró con datos reales para la cuenca de Cañete.

En el departamento de Junín se ha desarrollado la investigación denominada “Modelamiento hidrológico e hidráulico del río San Ramon para el diseño del puente evitamiento, provincia de Satipo, Junín”, desarrollado por Díaz (2019), la investigación ha determinado el caudal de diseño, empleando la metodología el método de conversión de lluvias a escurrimiento superficial, los resultados obtenidos de los caudales máximos fueron de 389 y 487.50 m³/s, los caudales calculados fueron calculados para los siguientes tiempos de retorno de 175 y 500 años correspondientemente, estimándose los parámetros hidráulicos son: ancho definido del río 75 m, galibo 11.00 m, el calado máximo 2.41 m, y una socavación total de 3.28 m.

2.1.3 Nivel local

En el contexto local, existe un estudio en la zona de Puno, que ha desarrollado un modelo regional aplicable a avenidas máximas en las cuencas hidrográficas: Ilave, Callacame y Zapatilla, para el diseño de estructuras hidroeléctricas. La fuerza desarrollada por Laura (2014), con el objetivo de proponer un modelo regional aplicado a la mayor crecida en las cuencas de



estudio, se obtuvo una distribución de probabilidad, representando un modelo regional para estimar grandes crecidas en cualquier lugar de la cuenca.

En la subcuenca de Ayaviri se realizó un estudio denominado Modelado de trayectorias máximas para el riesgo de inundaciones en la ciudad de Ayaviri - Puno, desarrollado por Mamani (2014), determinando caudales máximos para diferentes periodos de retorno y simulando dinámicas de caudal, se obtuvieron los siguientes resultados se analizan para periodos de retorno de 5, 50 y 100 años y caudales de 126.40, 424.20 y 495.80 m³/s respectivamente, encontrándose además un total de 253.03 ha de superficie inundada.

En el área de Puno, un análisis de frecuencia zonal desarrollado para estimar caudales máximos en la cuenca amazónica peruana, desarrollado por Lujano (2019), revela tres regiones homogéneas identificadas por un proceso mixto, entre el algoritmo de Ward, determinando así la curva de crecimiento regional; Finalmente se recogió la regionalización de descargas máximas para toda la región Puno.

En la cuenca de Ayaviri se ha realizado el estudio por Mamani (2021), denominado determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020. Los métodos que usó fueron la distribución Gumbel; Normal y Gamma (Pearson Tipo III), usando cinco estaciones como Conduriri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa. El método empleado es método de Mac-Math, lográndose los siguientes caudales 346.904, 376.816 y 406.727 m³/s; además se ha usado el método de Servicio de Conservación de Suelos (SCS), encontrándose el



hidrograma unitario de 353.419, 431.451 y 512.886 m³/s. la investigación concluye que hay correlación estadística, no existiendo una diferencia estadística con los demás estudios.

En la ciudad de Juliaca se ha desarrollado el estudio denominado generación de máximas avenidas en la sub cuenca Torococha empleando métodos hidrológicos, para diseño del puente Torococha, Juliaca, Puno, 2020; desarrollado por Flores (2020), donde obtuvo los resultados del el hidrograma unitario de Clark 34.90 m³/s para T=140 años, asimismo 53.60 m³/s para T=500 años, por otro lado empleando el hidrograma unitario SCS fue 49.80 m³/s y 76.60 m³/s para T=140 años y T=500 años respectivamente, además aplicó el hidrograma unitario de Snyder obteniendo caudales de 32.10 m³/s, 49.20 m³/s para T=140 años, T=500 años correspondientemente, se concluye que los caudales generados presentan variaciones en los resultados obtenidos entre un método y otro.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Cuenca hidrográfica

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas (Visión Mundial, 2001). Las cuencas hidrográficas han sido consideradas desde tiempos remotos como las unidades o espacios geosociales y políticos más adecuados para la planificación y desarrollo, su mayor énfasis se ha orientado hacia temas de carácter hidrológico (Zury, 2004). Es una unidad natural con límites definidos por la división geográfica hacia donde escurren las aguas, desde la parte más alta hasta el punto de salida del agua en la parte más baja (Cajina & Faustino, 2007).

2.2.1.1 Área total de la cuenca

Se refiere al área de forma irregular proyectada sobre el plano horizontal obtenido después de delimitar la cuenca. La forma de la piscina es tan irregular que no es posible calcular el área de la piscina con una fórmula geométrica o clasificación:

Tabla 1. Tamaño de la cuenca

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción	Tamaño de la cuenc (Ha)	Descripción
< 25	Muy pequeña	50 000 – 800 000	Cuenca
25 - 250	Pequeña	5 000 – 50 000	Subcuenca
250 - 500	Intermedia – Pequeña	< 5 000	Microcuenca
500 - 2500	Intermedia - Grande		
2500 – 5000	Grande		
> 5000	Muy Grande		

Fuente: Adaptado de Vásquez et al. (2016)

2.2.1.2 Áreas parciales

Representan una división del área total de la cuenca, que en el caso de la cuenca estudiada son 8 subáreas, siguiendo el curso de las curvas de nivel, este parámetro ayuda a obtener parámetros adicionales como (Visión Mundial, 2001). Esto se hace dividiendo por 50 la diferencia de elevación entre el punto de medición de nivel más bajo o el punto de interés y la cabecera del río más larga, generalmente en el punto de nivel más alto. El intervalo en el que se encuentran las curvas de nivel en la Carta Digital Nacional. Esto le dará el número de curvas que componen cada sección (Alatorre et al., 2013).



2.2.1.3 Perímetro de la cuenca

El perímetro (P) es el perímetro de la piscina y depende del área y la forma de la piscina. El perímetro (P) es el perímetro del tanque y depende de la superficie y la forma del tanque. A éste le sigue el nivel más alto y un estanque o tanque divotium. En otras palabras, una gota de agua que cae en el tanque se convierte en una línea a su alrededor. Fluye a lo largo de la malla actual hasta el nivel. Es el límite entre las cuencas de los ríos vecinos (Alejo et al., 2022).

2.2.1.4 Longitud del río considerando el más largo

Aunque hay excepciones notables como el río Urubamba, los ríos principales suelen definirse como aquellos de mayor caudal (medio o máximo) o de mayor longitud o área de captación. Tanto los conceptos de río principal como de nacimiento del río son arbitrarios, al igual que la distinción entre río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de las cuencas hidrográficas tienen una corriente principal bien definida desde el estuario hasta cerca de la cuenca hidrográfica. El río principal tiene un curso que es la distancia desde la cabecera hasta la desembocadura del río (Alejo et al., 2022).

En el curso de un río se distinguen tres partes:

- Cuencas aguas arriba ubicadas en el relieve más alto, donde la erosión hídrica del río es vertical. El resultado: profundización del canal.
- Curso medio donde el río comienza a zigzaguear y el valle se ensancha.



- Cuenca inferior en la parte inferior de la cuenca. Allí, el caudal del río se debilita y los sólidos transportan sedimentos, formando llanuras y valles aluviales.

2.2.1.5 Longitudes parciales de un río

La sección transversal del río se inclina en la parte superior, luego se ensancha en zig-zag y finalmente experimenta la deposición de sólidos y la pérdida de flujo en el fondo (Vásquez et al., 2016).

Aguas arriba, ubicado en el relieve más alto donde la erosión del río es vertical. El resultado: profundización del canal. El tramo medio donde el río comienza a zigzaguear y ensanchar el valle. La cuenca inferior ubicada en la parte inferior de la cuenca. Allí los caudales de los ríos se debilitan y los sólidos arrastran sedimentos, formando planicies y valles aluviales (Visión Mundial, 2001).

2.2.1.6 Pendiente de la cuenca

Es una característica de una cuenca que afecta en gran medida el caudal de los arroyos de montaña. Hay varias formas en este caso, dependiendo de la elección de uso dada por este (Visión Mundial, 2001):

Método de alvord

$$Sc = \frac{dl}{A} \quad (1)$$



Donde: S_c = Pendiente de la cuenca; l = longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (km); d = Desnivel entre las líneas medias de las curvas de nivel (km) y A = área de la cuenca en km^2 .

2.2.1.7 Elevación media de la cuenca

A veces es necesario conocer la altura media o el cambio de altura de la cuenca. En ese caso, se deben seguir los siguientes pasos de cálculo (Alejo et al., 2022):

- Que se basa en la construcción de una cuadrícula sobre el plano topográfico de la cuenca
- Debe contener al menos 100 intersecciones.
- Entonces tenemos un factor para calcular la altura promedio, que es la media aritmética de las alturas conocidas en este caso, por lo que se utiliza la siguiente fórmula:

$$hm = \frac{\sum hi}{n} \quad (2)$$

Donde: hi = elevación de cada intersección; n = número de intersección y hm = elevación media de la cuenca.

2.2.1.8 Orden de corrientes

A veces es necesario saber la altura promedio. Alternativamente, el orden de flujo es una clasificación que indica el grado de ramificación dentro de una cuenca. Esta clasificación requiere un plan de cuencas

hidrográficas que incluya caudales tanto perennes como intermitentes. La forma más común de hacer esta clasificación es considerar una corriente ordinal 1 como una corriente sin afluentes. De orden 2 a aquellos con afluentes de orden 1. Así, el orden de la red indica la extensión de la red eléctrica dentro de la cuenca.

2.2.1.9 Razón de bifurcación (R_b)

Es la relación entre el número de corrientes del orden dado y el número de corrientes de orden superior del ejemplo anterior se tiene:

$$R_{bi} = \frac{n^{\circ} \text{ de corrientes}}{\text{Orden principal}} \quad (3)$$

2.2.1.10 Forma de la cuenca

La forma pélvica es la configuración geométrica de la cuenca proyectada sobre un plano horizontal. Tradicionalmente, esto ha sido de gran importancia y puede tener un impacto significativo en el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, el tiempo de migración del agua a través de la red de drenaje y, en consecuencia, la forma del hidrograma para una precipitación dada (Díaz, 2004).

2.2.1.11 Longitud media de las corrientes

La longitud promedio de un flujo es la longitud promedio de un canal de orden U, la suma de todos los flujos dividida por el número de flujos de orden U, expresada como será:

$$\ddot{L}m = \frac{\sum_{i=1}^n l * U_i}{n} \quad (4)$$

Donde: Lm= longitud media de las corrientes; L= longitud de las corrientes; U=orden de corriente y N=número de corrientes.

2.2.1.12 Razón de longitudes

Es la relación de la longitud media de corrientes de orden U y la longitud media de corriente de orden inferior y se expresa de la siguiente manera (Alejo et al., 2022).

$$RL = \frac{\ddot{L}m}{\ddot{L}m - 1} \quad (5)$$

Donde: RL= Razón de longitudes y Lm= Longitud media de las corrientes.

2.2.1.13 Curva hipsométrica

El relieve de una cuenca se puede definir en términos de una curva hipsométrica que representa gráficamente la relación entre la elevación del terreno y las superficies acumuladas por debajo o por encima de la elevación. La curva hipsométrica también nos permite calcular la altura media y media de la cuenca (Visión Mundial, 2001).

2.2.1.14 Altitud media ponderada

Este parámetro es muy importante porque su magnitud está bastante correlacionada por la lluvia caída sobre la cuenca y está representada por la siguiente ecuación (Vásquez et al., 2016):



$$H = \sum \frac{C_i * a_i}{A} C_i = \frac{C_i + C_{i-1}}{2} \quad (6)$$

Donde: H = altitud media de la cuenca; C_i = altitud media entre curva de nivel sucesivas; a_i = área parcial entre curvas de nivel sucesivas y A = área total de la cuenca.

2.2.2 Parámetros hidráulicos

Para Vilcahuamán (2015), “La presencia de agua y una alta presión de poros son los puntos fundamentales al momento de producirse las grandes masas (precipitaciones), lo que originaría un flujo de escombros ya sea huaico e inundaciones”.

El manual de hidrología, hidráulica y drenaje definió a la hidráulica como una especialización de las ciencias físicas e ingenieriles cuyo propósito es el estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos (Esquivel et al., 2017; Zubieta et al., 2018).

El objetivo de los parámetros hidráulicos conlleva a una verdadera evaluación del comportamiento hidráulico del río. Por ello es importante determinar la socavación, y el coeficiente de Manning (Singh, 2017; Singh, 2018).

2.2.3 Profundidad de socavación

La socavación es un proceso originado por el desplazamiento del agua por un cauce o zona inundable y se caracteriza por la capacidad de arrastre de partículas sólidas. En corrientes aluviales este fenómeno dependerá de factores geológicos, topográficos y de las particularidades hidráulicas de la corriente



(Singh, 2017; Singh, 2018). Lo anterior corresponde al tipo de socavación normal o general en el lecho de la corriente.

La socavación generada en las orillas del afluente, no pueden ser evaluadas con precisión, sin embargo, estas se pueden evaluar mediante estos factores que intervienen: el caudal del río, el tamaño y las cantidades del material sólido que se arrastra en ella (Khan, 2015; Llamas, 1993).

2.2.4 Caudal de diseño

Según el diccionario de la Real Academia Española (RAE), caudal de diseño es aquella cantidad de fluido que discurre por un determinado lugar por unidad de tiempo. Según Mejía (2012); Melesse et al. (2019), expresa lo siguiente: El caudal de diseño para defensas ribereñas, tienen relación con el nivel de riesgo que podría llevar una máxima avenida por falta de un sistema de protección, lo cual algunos autores recomiendan 200 y 500 años de periodo de retorno, dependiendo de la situación de riesgo (Chow et al., 1994; Fernández, 1995; Haan et al., 1994).

2.2.5 Variables hidrológicas

Las precipitaciones y los caudales son variables hidrológicas que son medidas por las estaciones hidrométricas. Éstas son consideradas variables aleatorias y son definidas mediante una función que les asigna un valor, asociado a cada punto del espacio muestral (Chow et al., 1994).

El modelo con fines de conocer caudales ya sean máximos o mensuales, para un evento o de forma continua nos estamos refiriendo a un modelamiento



hidrológico (Loizu, 2017). Entonces, a nivel de cuenca, realizar un modelamiento hidrológico resulta siendo un componente muy indispensable en el manejo, gestión e investigación de los recursos hídricos (Esquivel et al., 2017).

Las características geomorfológicas son tales como relieve, pendientes, curvas hipsométricas. Por ejemplo, mientras las pendientes son más acentuadas se generará caudales mayores; si hay presencia de vegetación los caudales serán menores y las inundaciones serán menos latentes; si el tipo de suelo corresponde a la familia de las arcillas la infiltración será menor y por ende los valores que adopten los caudales serán mayores (Planasdemunt, 2016).

2.2.6 Precipitaciones

Las precipitaciones representan el elemento más importante del ciclo hidrológico (Villón, 2004). La precipitación, junto con la temperatura, es el elemento climático más influyente en el medio natural, ya que afecta directamente en la distribución de las especies vegetales y animales, y a la vez en las actividades del hombre, como son las agrícolas, las forestales y las económicas entre otras (Fernández, 1995). Para Llamas (1993), la precipitación es un fenómeno físico que describe la transición del agua entre la atmósfera y el suelo en fase líquida (en forma de lluvia) y sólida (en forma de nieve y granizo). Parte de la precipitación alimenta la evaporación dentro de la cuenca y el resto son contribuciones superficiales o subterráneas.

2.2.7 Análisis de máximas avenidas

Para el diseño de cualquier tipo de estructura es necesario conocer la probabilidad de ocurrencia de diferentes eventos, los cuales se obtienen a partir

de un diseño hidrológico. Desde el punto de vista de la seguridad, la estructura debería ser diseñada para controlar el evento extremo mayor que pueda ocurrir (Chúa, 2017). Por lo tanto, el diseño hidrológico es un compromiso entre seguridad y economía y en ese contexto se incluye el concepto de riesgo calculado o riesgo de falla (Fattorelli & Fernández, 2011).

2.2.8 Relación precipitación – escorrentía

Las relaciones precipitación escorrentía están directamente relacionadas al cálculo del evento denominado avenida que puede definirse como un rápido ascenso del nivel de las aguas de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una menor velocidad (Chúa, 2017).

2.2.9 Tiempo de retorno

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

2.2.10 Hidrograma unitario

El hidrograma Unitario como aquella escorrentía superficial ficticia proveniente de una precipitación unitaria uniforme sobre la cuenca; resulta, por lo tanto, una escorrentía superficial de volumen unitario (Mejía, 2012).

2.2.11 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se define como la fracción de agua que llega al cauce de evacuación con respecto a la precipitación total. El coeficiente de escorrentía es adimensional y es representado con la letra C (Villón, 2004).



$$C = \frac{\text{Valor de escorrentía superficial total}}{\text{Valor de precipitación total}} \quad (7)$$

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



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La subcuenca del río Conduriri se ubica hidrográficamente dentro de la cuenca del río Ilave, y las ubicaciones geográfica y políticamente se describen. Dentro de los principales afluentes al río Ilave tenemos al río Conduriri, así mismo tiene afluentes como el río huancamaya, río Lizani. Se localiza entre la latitud sur: 16°33'36", longitud oeste: 69°45'31"; hidrográficamente pertenece a una cuenca endorreica del Lago Titicaca, cuenca hidrográfica Ilave, subcuenca de Conduriri; la ubicación política pertenece a la región Puno, provincia de El Collao del distrito Conduriri. El distrito de Conduriri tiene una superficie total de 1005.67 km², altitud media de 3950 m s. n. m., población (al 2017) total de 2529 habitantes, densidad poblacional de 2,51 hab/km² (INEI, 2022).

3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se ha desarrollado desde el 2020 hasta el mes de abril del 2021.

a. Delimitación temporal

Año académico 2021.

b. Delimitación espacial

La delimitación espacial que se ubica en el distrito de Conduriri, subcuenca Conduriri.



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia



3.3 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Método de investigación

El método científico forma parte de una secuencia de pasos, métodos, herramientas, actos, tácticas para solucionar problemas de investigación, así como para comprobar la hipótesis planteada (Fresno, 2019; Hernández et al., 2018).

La investigación usa el método científico, realiza un conjunto de pasos ordenados, que empieza con la observación directa verificadas en la zona de estudio; marcas de nivel de avenidas máximas de gran importancia, evidenciando el comportamiento del caudal que impacta en las obras hidráulicas, identifica el punto de interés, calcula o estima las máximas avenidas mediante métodos hidrológicos y concluyendo con los resultados. Siguiendo estos argumentos, se adoptó el método científico en esta investigación.

3.3.2 Tipo de investigación

La investigación aplicada persigue solucionar inconvenientes prácticos, con un margen de generalidad definida. asimismo, es insuficiente el aporte al conocimiento científico desde una perspectiva teórica (Hernández et al., 2018; Ruiz, 2007).

Conforme a lo anterior, al calcular, determinar o estimar los caudales máximos de diseño, se buscará la generación de conocimientos con aplicación a problemas reales el cuales son los caudales máximos que se puede presentar en la subcuenca del río Conduriri, cuyo propósito es conocer los caudales máximos de diseño de obras hidráulicas para la protección de las mismas y así evitar inundaciones o estar/vulnerable frente a los desastres naturales ocurridos por el



agua. En base a la proposición evidenciada, esta investigación se compone del tipo aplicada.

3.3.3 Nivel de investigación

El nivel explicativo está orientado a contestar el principio de los acontecimientos y sucesos físicos o sociales, es decir su utilidad se ajusta en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué circunstancias se presenta o por qué se relacionan dos o más variables (Domínguez et al., 2018; Hernández et al., 2018; Hernández et al., 2014). De acuerdo a este análisis y argumentación la tesis corresponde al nivel explicativo.

3.3.4 Diseño de investigación

El diseño de no experimental, según (Ander & Valle, 2017; Arias, 2012) la investigación no experimental es donde no existe maniobra de variables independientes, es decir se fundamenta en variables que ya acontecieron en el entorno sin la participación clara del investigador. La investigación corresponde a no experimental de corte transeccional, pues no se manipulará intencionalmente las variables, tomándose los datos en un solo momento. El diseño empleado en la investigación es de diseño no experimental.

3.4 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO Y UNIDAD DE ANÁLISIS

3.4.1 Población

Para Baena (2017); Tamayo (2004) la población es un “conjunto o la totalidad de un grupo de elementos, casos u objetos que se quiere investigar”. La



población de esta investigación está conformada por la subcuenca del río Conduriri.

3.4.2 Muestra

Según Cruz et al. (2014); Fresno (2019); Hernández et al. (2018) la muestra es una disgregación de los miembros de una población. La muestra elegida para esta investigación es la subcuenca del río Conduriri.

3.4.3 Muestreo

De acuerdo con Fresno (2019); Mias (2018); Ñaupas et al. (2014); Wood and Smith (2017) afirma que el tipo de muestreo no probabilísticos es cuando no se puede conocer el nivel de certeza de los resultados de la investigación, ya que este tipo de muestreo no emplea leyes del azar mucho menos el cálculo de probabilidades, por lo cual las muestras obtenidas son sesgadas. De acuerdo a la clasificación, la investigación ha empleado el muestreo no probabilístico intencional.

3.4.4 Unidad de análisis

Según Fuentes et al. (2020); Gallardo (2017); Ñaupas et al. (2018); Valderrama (2013) sostiene que “la unidad de análisis representa a los sujetos o al objeto concreto en quienes será aplicado el estudio: pueden ser personas, organizaciones y/o naciones”. La unidad de análisis de la investigación es el río Conduriri.



3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas: observación directa

La observación, es un procedimiento estricto que nos facilita saber de forma clara la finalidad del estudio, enseguida proceder a detallar y examinar acontecimiento sobre el escenario estudiado (Bernal, 2010; Ñaupas et al., 2014; Ñaupas et al., 2018). La técnica empleada para esta tesis es la observación directa.

3.5.2 Instrumentos

Para Baena (2017); Carrasco (2019); Gallardo (2017) afirma que se tiene la ficha de observación, de manipulación sencilla, pero de mucha ventaja, el cual se utiliza para recopilar datos que se estiman como resultado de la relación directa entre el observador utilizándose en la investigación la ficha de recolección de datos.

3.6 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

a. Materiales

El material utilizado fue papel bond de 80g, tamaño A - 4; papelería y otros artículos de papelería.

b. Equipos

El dispositivo utilizado es una computadora portátil HP i5; Impresora láser HP Deskjet 3010, cámara, computadora y GPS Garmyn.

c. Softwares



El software utilizado es Microsoft Word; Microsoft Excel; ArcGis 10.3 y AutoCAD 2021, HIDROESTA.

d. Humanos

El autor y el asesor de la tesis participaron en este trabajo de investigación.

3.7 PROCEDIMIENTO

El procedimiento para el cumplimiento de los objetivos fue:

Objetivo 1: Caracterización geomorfológica de la subcuenca

Para analizar las características geomorfológicas se identificaron las estaciones hidrometeorológicas existentes, para recolectar datos de precipitaciones y algunas características de la subcuenca. Con la ayuda del software de Sistema de Información Geográfica (SIG), para la caracterización, ya que las principales características de la subcuenca fueron: área de la cuenca, perímetro de cuenca., longitud máxima del río, forma de la cuenca, densidad de drenaje y pendiente media de la cuenca.

Objetivo 2: Determinación de los caudales máximos de diseño mediante la utilización de métodos empíricos

El caudal máximo se determina por método probabilístico, de acuerdo con el siguiente procedimiento. Análisis de frecuencia para estimar la precipitación, la intensidad o el caudal máximo, según sea el caso, para los ciclos de retorno, gracias a la aplicación de modelos probabilísticos, que pueden ser discretos o continuos. En estadística, existen muchas funciones teóricas de distribución de probabilidad diferentes; Para determinar el caudal máximo de la subcuenca Conduriri se utilizarán las siguientes funciones: distribución normal, distribución log normal 2 parámetros, distribución log

normal con 3 parámetros. distribución gamma de 2 parámetros, distribución gamma de 3 parámetros, distribución log Pearson tipo III, distribución Gumbel y distribución log Gumbel.

Objetivo 3: Análisis del desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos

Para desarrollar modelos empíricos y probabilísticos se realizaron las siguientes pruebas:

a. Pruebas de bondad de ajuste

La prueba de ajuste es probar las suposiciones utilizadas para evaluar si el conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución seleccionada. En teoría estadística, las pruebas de ajuste más conocidas son χ^2 y Kolmogorov–Smirnov.

b. Prueba X^2

Esta prueba fue propuesta por Karl Pearson en (1900), se aplica para verificar la calidad de las distribuciones log-normal y normal. Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en varios intervalos de clase k . A continuación, se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \quad (8)$$

Dónde:

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

ε_i Se calcula como:



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

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

Calculado el parámetro D para cada función de distribución considerada, la determinación del valor de una variable aleatoria con distribución χ^2 para $v = k - 1 - m$ grados de libertad para un nivel de significancia α , donde m es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

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

$$D \leq X_{1-\alpha, k-1-m}^2 \quad (9)$$

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

Cabe recalcar que la prueba del X^2 , desde un punto de vista matemático solo debería usarse para comprobar la normalidad de las funciones normal y Log normal.

c. Prueba kolmogorov – smirnov

El método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste (Aparicio, 1997; Breña & Jacobo, 2006). “Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(xm)$ y la estimada $F(xm)$ ”:

$$D = \frac{\text{máx}}{F_o(xm) - F(xm)} \quad (10)$$

“Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de X^2 de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos” (Mamani, 2014). La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F = (xm) = \frac{1 - m}{(n + 1)} \quad (11)$$

Donde m es el número de orden de datos de mayor a menor x_m en la lista y n es el número total de datos. donde la prueba de Smirnov-Kolmogorov es para comparar diferencias entre otros análisis. Las probabilidades empíricas y teóricas de los datos de la muestra se tomaron como valor absoluto máximo, es decir, la diferencia entre el valor observado y el valor teórico de la línea del modelo:

$$\Delta = \text{máx. } |F(x) - P(x)| \quad (12)$$

Dónde:

Δ = Estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x)$ = Probabilidad de la distribución de ajuste o teórica.

$P(x)$ = Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

Las ventajas y limitaciones de esta prueba son:

- No se requieren conocimientos a priori de funciones de distribución teóricas.
- Se aplica a distribuciones de datos no agrupados. En otras palabras, no hay necesidad de crear intervalos de clase.
- Se aplica a cualquier distribución teórica.

- Se aplica a la función de distribución acumulada, no a la función de densidad.
- En comparación con la prueba de chi-cuadrado, cada clase de frecuencia no necesita contener al menos 5 observaciones.

Esta es una prueba de aproximación, no una prueba exacta.

d. Relación entre en periodo de retorno y función de distribución acumulada

Las ecuaciones para la función de distribución acumulativa $F(x)$, están representadas por la siguiente ecuación.

$$F(x) = P(X < x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (13)$$

La ecuación expresa una probabilidad que el suceso no ocurra. En este caso el periodo de retorno (T) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{P(x \geq X)} = \frac{1}{1 - p(X > x)} = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (14)$$

En ingeniería, los diseños se realizan para soportar eventos máximos, es decir, en un caso dado no se supera, dentro de un determinado periodo de recuperación, así, los diseños se generan para el tiempo de recuperación, es decir, los valores de $F(x)$, estimado para el tiempo de retorno dado por la siguiente ecuación.

$$F = 1 - \frac{1}{T} \quad (15)$$

3.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Para la presente investigación se han considerado la siguiente **Tabla 2:**

:

Tabla 2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR
V1: Métodos Hidrológicos	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 hidrológicos aplicados para la generación de máximas avenidas se operacionalizan mediante la aplicación del método del hidrograma unitario de Clark, hidrograma unitario SCS y el hidrograma unitario de Snyder.	D1: Método del Hidrograma Unitario de Clark D2: Método del Hidrograma Unitario Triangular de la SCS D3: Método del Hidrograma Unitario de Snyder	I1: Tiempo de concentración I2: Coeficiente de almacenamiento I3: Velocidad de propagación I1: tiempo de concentración I2: Tiempo base I3: Tiempo pico I1: Tiempo de retardo I2: Coeficiente pico de la cuenca I3: Flujo base
V2: Caudal máximo	Para Chow et al. (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 et al. (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 et al. (1994) y Villón (2004), el período de retorno (T) es un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un período 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.	Las máximas avenidas de diseño se operacionalizan mediante el empleo de la técnica de transformación de lluvia – escurrimiento - caudal, para lo cual se analizaron la cuenca, la precipitación máxima en 24 horas y finalmente la respuesta hidrológica de la cuenca.	D1: Cuenca D2: Precipitación D3: Respuesta hidrológica de la cuenca	I1: Características morfométricas I2: Características físicas I3: Red de drenaje I1: Intensidad I2: Duración I3: Frecuencia I1: Parámetros geomorfológicos I2: Parámetros topológicos I3: Precipitaciones

Fuente: Elaboración propia



3.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Etapa I:

- Se realizó la inducción a la investigación y la recopilación de información.
- Fuentes secundarias de información: revistas, libros, tesis, artículos, folletos, boletines, investigaciones, CDs, bases de datos, Internet, diarios, documentos, mapas, fotografías, mapas, etc.
- Fuentes primarias de información; procesamiento de información básica para determinar a partir de las salidas de campo.

Etapa II:

- Términos de Información: autoridades de salud, PELT, ALT, Agrorural, Ministerio de Agricultura, UNA, SENAMHI, ANA, GORE Puno, la Municipalidad de distrital de Conduriri, intelectuales, líderes políticos, organizaciones estatales, ONGs, entre otros.
- Salidas de campo: visita guiada, consulta abierta, actores claves, verificación, validación, generación de información.

Etapa III:

- Redacción final: procesamiento y análisis de la información obtenida en campo, realización de consultas a expertos y seguimiento por parte del panel de revisión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan en esta investigación son en tres fases; primeramente se muestra la caracterización geomorfológica de la subcuenca; seguido de la determinación de los caudales máximos de diseño mediante la utilización de métodos empíricos y el análisis del desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos.

4.1 RESULTADOS

Para este caso se describe los cálculos previos para el análisis de todos los datos para el logro de los objetivos propuestos:

4.1.1 Caracterización geomorfológica de la subcuenca

Se ha caracterizado la subcuenca de Conduriri, en donde se puede decir que pertenece a una cuenca grande según lo menciona Visión Mundial (2001), las características de la subcuenca del río Conduriri se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Características de la cuenca

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud curso (km)	Pendiente (%)	Cota Máx. (msnm)	Cota Min. (msnm)
Río Conduriri	625,498	131,881	30,117	7,495	5331,00	3997,00

Fuente: Elaboración propia

Además, se muestra las fórmulas y un resumen de los parámetros de forma de la subcuenca analizada en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Parámetros de forma de la subcuenca

Parámetros		Und	Nomenclatura	Subcuenca del río Conduriri	
Parámetros de forma Área total de la cuenca	Área total de la cuenca	Km ²	A	625,498	
	Perímetro de la cuenca	Km	P	131,881	
	Longitud (Curso más largo)	Km	L	30,117	
	Ancho Medio	Km	$A_p=A/L$	20,769	
	Coefficiente de Compacidad	*	$K_c=0.282*(P/A^{1/2})$	0,129	
	Factor de Forma	*	$F_c=A/L^2$	0,690	
	Rectángulo equivalente	Lado mayor	Km	$L = K_c*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*K_c^2))$	125,867
		Lado menor	Km	$B= A / L$	20,769
	Radio de Circularidad			$R_c=4*\pi*A/P^2$	0,452

Fuente: Elaboración propia

La curva hipsométrica de la subcuenca estudiada, se muestra en la **Figura 2**, la altitud mediana es de 4528.74 metros sobre el nivel del mar, la curva inferior refleja fielmente el comportamiento global de la elevación de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión.

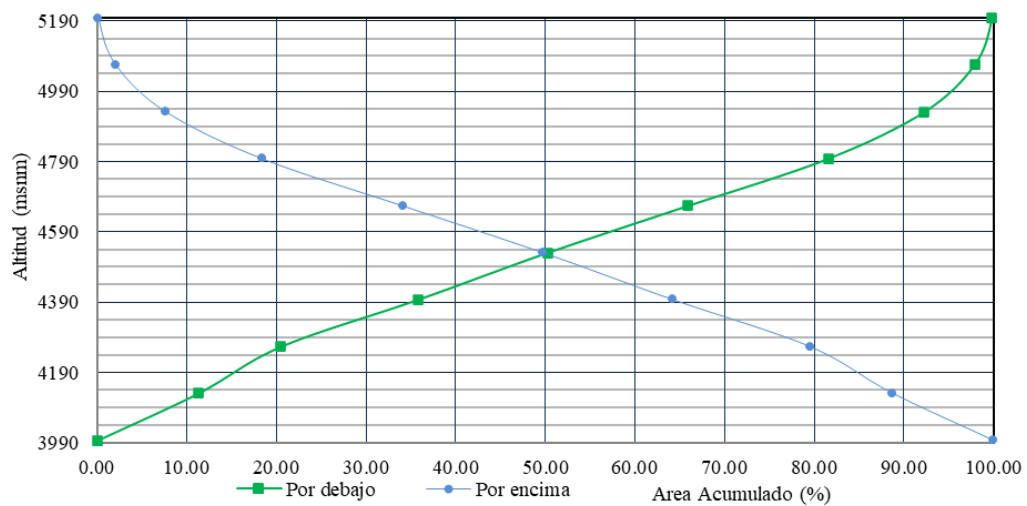


Figura 2. Curva hipsométrica

Fuente: Elaboración propia

La elevación media de la subcuenca en estudio se ha determinado la cota de la curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área; es decir, la elevación correspondiente al 50% del área total.

Se presenta el polígono de frecuencias de áreas parciales, donde me indica que las alturas que más predominan son: 4931 (10.75%) al 4,131 (11.26%), el rango que representan cada una en un 15%, las alturas mencionadas hacen un 83.07%, razón por la cual que la altura media está en una altura de 4528.74 m.s.n.m.

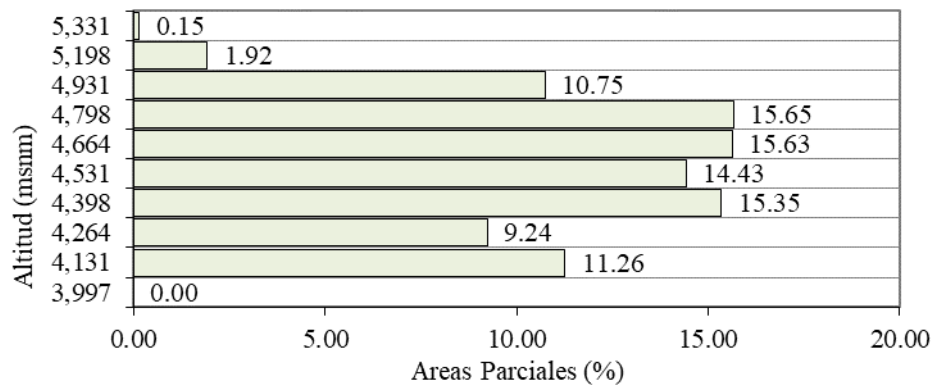


Figura 3. Polígono de frecuencias de áreas parciales

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4**, se presenta el rectángulo equivalente, lo que indica que tiene el mismo perímetro y la misma superficie que la cuenca. Por tanto, tiene el mismo índice de densidad y la misma distribución hipsométrica.

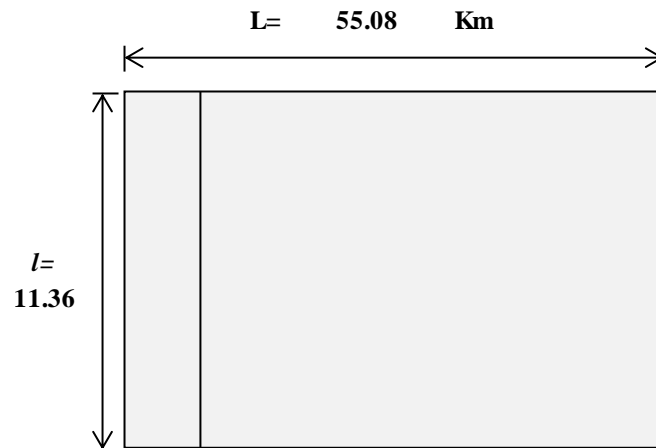


Figura 4. Rectángulo equivalente

Fuente: Elaboración propia

La pendiente media del río es un parámetro que se utiliza para determinar la pendiente del río entre dos puntos. Se determina por la diferencia de la talla mayor y la talla menor entre la longitud total, multiplicada por un porcentaje; en este caso la pendiente del río es 0.1950% o quizás 1.950% como se muestra en la **Figura 5**.

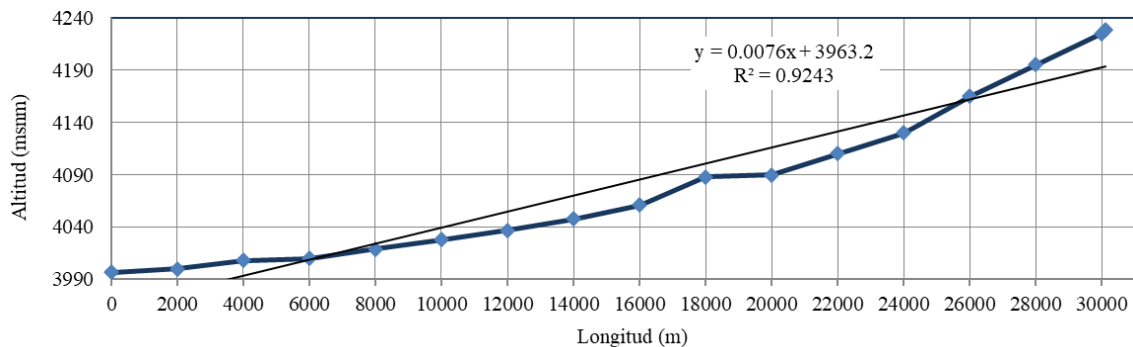


Figura 5. Pendiente del río principal

Fuente: Elaboración propia

La pendiente se ajusta a una línea con la ecuación $y = 0.0076X + 3963.2$, donde el ajuste de R^2 es 92.43%, lo que se puede decir que es un buen ajuste.



Se tiene un cálculo de la pendiente media de la cuenca, que es de 7.495%, para su posterior revisión o comparación con la clasificación de gradientes que se muestra en la **Tabla 5** y la **Tabla 6**.

Tabla 5. Cálculo de pendiente media de la cuenca

Nº	Rango pendiente		Promedio	Número de ocurrencia	Promedio x ocurrencia
	Inferior	Superior			
1	0	5	2,5	1.685.923,00	4.214.807,50
2	5	12	8,5	1.630.768,00	13.861.528,00
3	12	18	15,0	495.894,00	7.438.410,00
4	18	24	21,0	141.182,00	2.964.822,00
5	24	32	28,0	40.157,00	1.124.396,00
6	32	44	38,0	7.921,00	300.998,00
7	44	100	72,0	1.382,00	99.504,00

Fuente: Elaboración propia

Según la **Tabla 5**, y pendiente de la subcuenca tiene una pendiente del 5% a 12%, lo que corresponde a un poco montañoso.

Tabla 6. Clasificación según la pendiente

Nº	Rango pendiente		Porcentaje %	Tipo
	Inferior	Superior		
1	0	5	< 5	Plano
2	5	12	5 - 12	Ligeramente ondulado
3	12	18	12 - 18	Ondulado
4	18	24	18 - 24	Fuertemente ondulado
5	24	32	24 - 32	Escarpado
6	32	44	32 - 44	Fuertemente escarpado
7	44	100	> 44	Montañoso

Fuente: Elaboración propia

La pendiente se considera para diferentes estudios, como velocidad de flujo, escorrentía, erosión del suelo, transporte de sedimentos, entre otros estudios relacionados con la hidrología.

4.1.2 Determinación de los caudales máximos de diseño mediante la utilización de métodos empíricos

Tabla 7. Precipitaciones Máximas (Pt) mm

n	P 24h (mm)	Duración (min)							
		10	20	30	60	120	360	720	1440
1	29,2	8,44	10,03	11,10	13,20	15,70	20,66	24,57	29,22
2	24,2	6,99	8,31	9,19	10,93	13,00	17,11	20,35	24,20
3	19,8	5,72	6,80	7,52	8,95	10,64	14,00	16,65	19,80
4	39,0	11,26	13,39	14,82	17,62	20,95	27,58	32,79	39,00
5	18,0	5,20	6,18	6,84	8,13	9,67	12,73	15,14	18,00
6	30,6	8,83	10,50	11,63	13,83	16,44	21,64	25,73	30,60
7	35,6	10,28	12,22	13,53	16,08	19,13	25,17	29,94	35,60
8	27,8	8,03	9,54	10,56	12,56	14,94	19,66	23,38	27,80
9	47,4	13,68	16,27	18,01	21,42	25,47	33,52	39,86	47,40
10	32,4	9,35	11,12	12,31	14,64	17,41	22,91	27,25	32,40
11	22,0	6,35	7,55	8,36	9,94	11,82	15,56	18,50	22,00
12	31,6	9,12	10,85	12,01	14,28	16,98	22,34	26,57	31,60
13	26,6	7,68	9,13	10,11	12,02	14,29	18,81	22,37	26,60
14	33,8	9,76	11,60	12,84	15,27	18,16	23,90	28,42	33,80
15	24,4	7,04	8,38	9,27	11,02	13,11	17,25	20,52	24,40
16	19,3	5,57	6,63	7,33	8,72	10,37	13,65	16,23	19,30
17	31,3	9,04	10,75	11,89	14,14	16,82	22,13	26,32	31,30
18	59,0	17,03	20,25	22,42	26,66	31,70	41,72	49,61	59,00
19	24,0	6,93	8,24	9,12	10,84	12,89	16,97	20,18	24,00
20	32,0	9,24	10,99	12,16	14,46	17,19	22,63	26,91	32,00
21	13,4	3,87	4,60	5,09	6,05	7,20	9,48	11,27	13,40
22	28,0	8,08	9,61	10,64	12,65	15,04	19,80	23,55	28,00
23	28,0	8,08	9,61	10,64	12,65	15,04	19,80	23,55	28,00
24	45,0	12,99	15,45	17,10	20,33	24,18	31,82	37,84	45,00
25	21,8	6,29	7,48	8,28	9,85	11,71	15,41	18,33	21,80
26	23,7	6,84	8,14	9,00	10,71	12,73	16,76	19,93	23,70
27	30,4	8,78	10,44	11,55	13,73	16,33	21,50	25,56	30,40
28	21,7	6,26	7,45	8,24	9,80	11,66	15,34	18,25	21,70
29	18,7	5,39	6,41	7,09	8,44	10,03	13,20	15,70	18,67
30	20,0	5,77	6,87	7,60	9,04	10,75	14,14	16,82	20,00
31	26,8	7,74	9,20	10,18	12,11	14,40	18,95	22,54	26,80
32	26,9	7,77	9,23	10,22	12,15	14,45	19,02	22,62	26,90
33	17,8	5,14	6,11	6,76	8,04	9,56	12,59	14,97	17,80
34	25,4	7,33	8,72	9,65	11,48	13,65	17,96	21,36	25,40
35	35,4	10,22	12,15	13,45	15,99	19,02	25,03	29,77	35,40
36	20,0	5,77	6,87	7,60	9,04	10,75	14,14	16,82	20,00
37	29,0	8,37	9,96	11,02	13,10	15,58	20,51	24,39	29,00
38	27,4	7,91	9,41	10,41	12,38	14,72	19,37	23,04	27,40
39	25,8	7,45	8,86	9,80	11,66	13,86	18,24	21,70	25,80
40	22,6	6,52	7,76	8,59	10,21	12,14	15,98	19,00	22,60
41	21,6	6,24	7,42	8,21	9,76	11,61	15,27	18,16	21,60
42	22,4	6,47	7,69	8,51	10,12	12,04	15,84	18,84	22,40
43	37,0	10,68	12,70	14,06	16,72	19,88	26,16	31,11	37,00
44	34,0	9,81	11,67	12,92	15,36	18,27	24,04	28,59	34,00
45	19,6	5,66	6,73	7,45	8,86	10,53	13,86	16,48	19,60
46	27,8	8,03	9,54	10,56	12,56	14,94	19,66	23,38	27,80
47	25,4	7,33	8,72	9,65	11,48	13,65	17,96	21,36	25,40
48	24,6	7,10	8,45	9,35	11,11	13,22	17,39	20,69	24,60
49	26,4	7,62	9,06	10,03	11,93	14,18	18,67	22,20	26,40
50	34,6	9,99	11,88	13,15	15,63	18,59	24,47	29,10	34,60
51	33,2	9,58	11,40	12,61	15,00	17,84	23,48	27,92	33,20
52	38,2	11,03	13,11	14,51	17,26	20,52	27,01	32,12	38,20
53	30,0	8,66	10,30	11,40	13,55	16,12	21,21	25,23	30,00
54	35,7	10,29	12,24	13,54	16,11	19,15	25,21	29,98	35,65
55	42,7	12,33	14,66	16,22	19,29	22,94	30,19	35,91	42,70
56	23,1	6,67	7,94	8,78	10,45	12,42	16,35	19,44	23,12
57	28,8	8,30	9,87	10,93	12,99	15,45	20,34	24,18	28,76
58	39,5	11,40	13,55	15,00	17,84	21,21	27,92	33,20	39,48



Tabla 8. Intensidades Máximas (I) mm/h

Periodo de retorno - Gumbel	Duración (min)							
	10	20	30	60	120	360	720	1440
2	47,27	28,11	20,74	12,33	7,33	3,22	1,91	1,14
5	59,72	35,51	26,20	15,58	9,26	4,06	2,42	1,44
10	67,96	40,41	29,81	17,73	10,54	4,62	2,75	1,63
25	78,37	46,60	34,38	20,44	12,16	5,33	3,17	1,89
50	86,10	51,19	37,77	22,46	13,35	5,86	3,48	2,07
100	93,76	55,75	41,13	24,46	14,54	6,38	3,79	2,26
200	101,40	60,29	44,48	26,45	15,73	6,90	4,10	2,44
500	111,48	66,29	48,91	29,08	17,29	7,59	4,51	2,68
1000	119,10	70,82	52,25	31,07	18,47	8,10	4,82	2,87

Fuente: Elaboración propia

Llegando a si a la ecuación de intensidad.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{k * T^a}{D^b}$$

$$I = \frac{265,0380 * T^{0,1426}}{D^{0,7500}}$$

Calculando las curvas I-D-F

Tiempo de retardo, en min. Es el tiempo entre la mitad de la duración de la lluvia efectiva y el tiempo al pico.

$$T_c = 84,00 \quad T_r = 0,6 * T_c$$

Tr (min)	50,40
-----------------	-------

Hidrograma de Diseño

Imáx con el criterio de Crobe o Dyck



$$I = \frac{265,0380 * T}{0,7500} \quad 0,1426$$

D

Donde: I = intensidad de precipitación (mm/h); T = Período de Retorno (años) y D = Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla 9. Tabla de Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno

Frecuencia años	Duración en minutos													
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
2	76,32	45,38	33,48	26,98	22,82	19,91	17,73	16,04	14,69	13,57	12,64	11,84	11,15	10,54
5	86,98	51,72	38,16	30,75	26,01	22,69	20,21	18,28	16,74	15,47	14,40	13,49	12,70	12,02
10	96,02	57,09	42,12	33,95	28,72	25,05	22,31	20,18	18,48	17,07	15,90	14,89	14,02	13,27
25	109,42	65,06	48,00	38,69	32,72	28,54	25,43	23,00	21,06	19,46	18,12	16,97	15,98	15,12
50	120,79	71,82	52,99	42,71	36,13	31,51	28,07	25,39	23,25	21,48	20,00	18,74	17,64	16,69
100	133,35	79,29	58,50	47,15	39,88	34,78	30,99	28,03	25,66	23,71	22,08	20,68	19,48	18,42
200	147,21	87,53	64,58	52,05	44,02	38,40	34,21	30,95	28,33	26,18	24,37	22,83	21,50	20,34
500	167,76	99,75	73,59	59,31	50,17	43,76	38,98	35,27	32,29	29,83	27,77	26,02	24,50	23,18
1000	185,19	110,12	81,24	65,48	55,39	48,31	43,03	38,93	35,64	32,93	30,66	28,72	27,05	25,59
2000	204,44	121,56	89,69	72,28	61,14	53,33	47,51	42,98	39,34	36,36	33,85	31,71	29,86	28,25
5000	232,99	138,54	102,21	82,37	69,68	60,77	54,14	48,98	44,84	41,43	38,57	36,14	34,03	32,19

Fuente: Elaboración propia

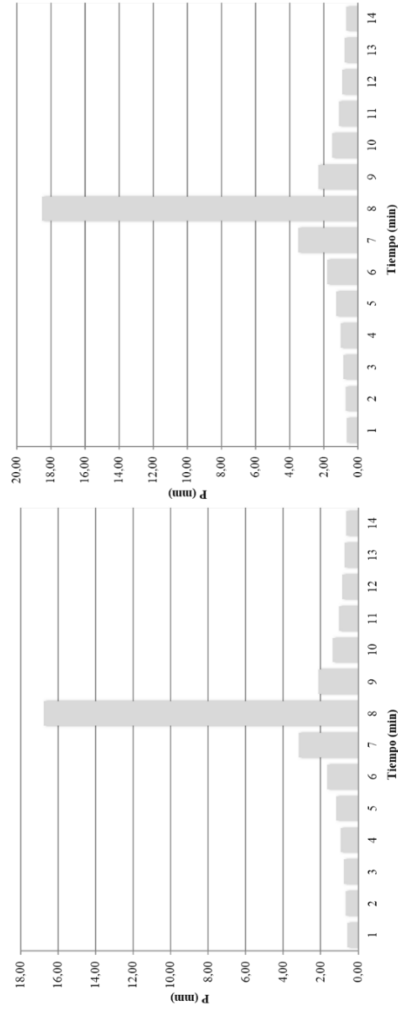


Figura 6. Hietograma o tormenta de diseño de 500 y 100 años

Fuente: Elaboración propia

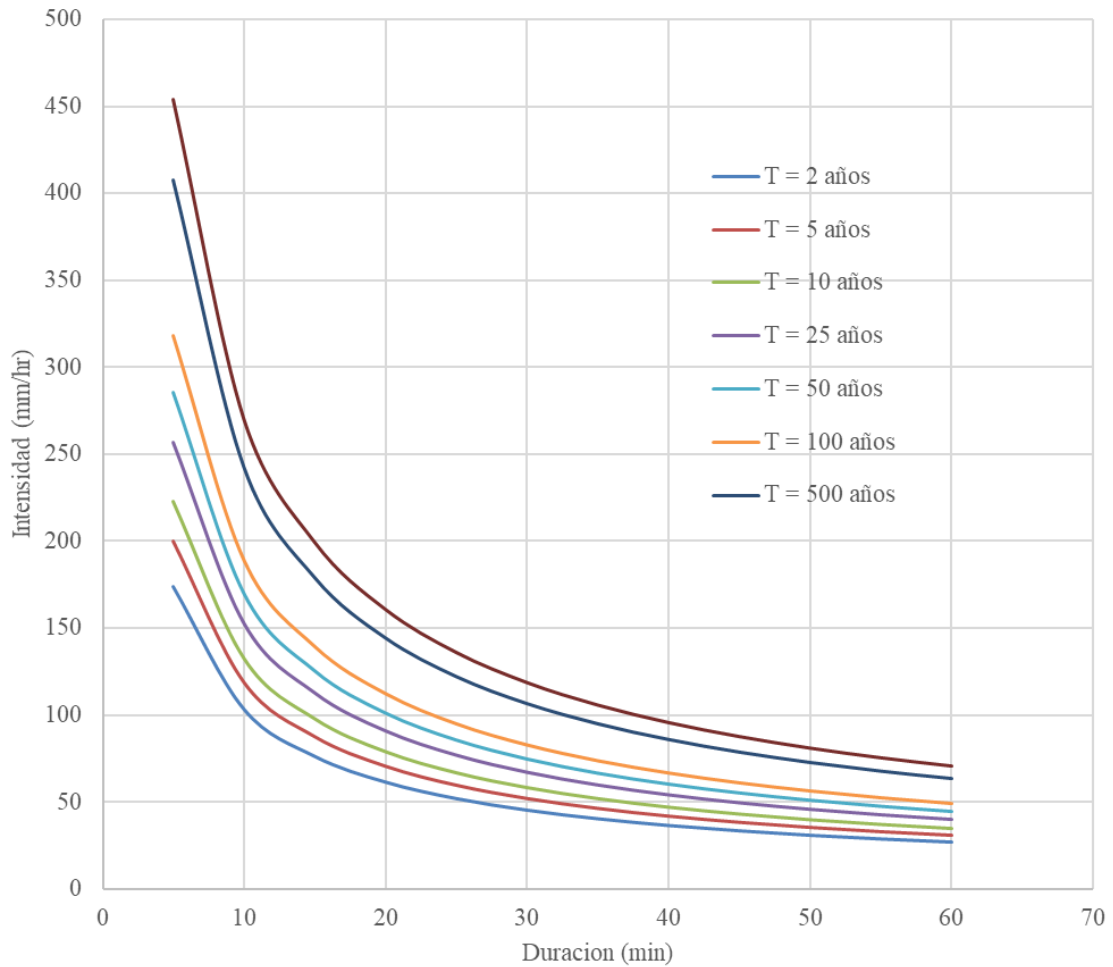


Figura 7. Curvas I-D-F

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se cuenta con el hidrograma de precipitación anual histórica – estación Mazocruz sin completar los datos para ver con los datos que se cuenta de las precipitaciones de 24 horas desde el año 1963 hasta 2017, que representa 55 años, como se muestra en la **Figura 8**.

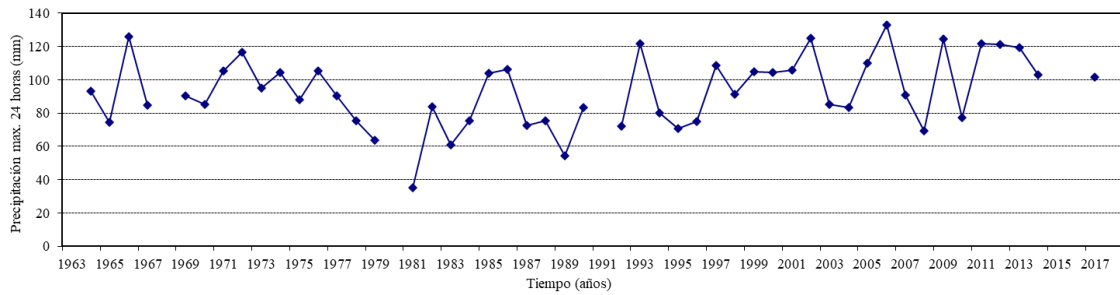


Figura 8. Hidrograma de precipitación anual histórica – estación Mazacruz SC

Fuente: Elaboración propia

Después de un análisis se ha completado y extendido el 10% de los datos existentes en el cual se tiene el hidrograma de precipitación de 24 horas con los datos completados como se muestra en la **Figura 9**, así como se muestra el Hidrograma de registro histórico en la **Figura 10**.

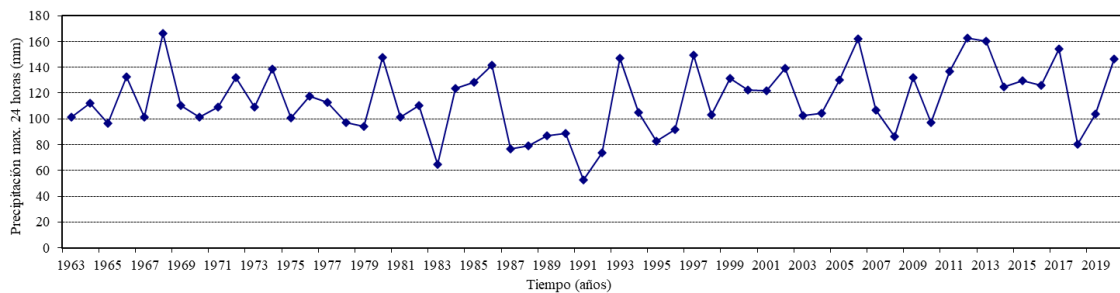


Figura 9. Hidrograma de precipitación con datos completados – estación Mazacruz

Fuente: Elaboración propia

El hidrograma de registro histórico, son de los datos completados y extendidos, que posteriormente se ha realizado análisis para su uso y posterior en la transformación en caudales máximos.

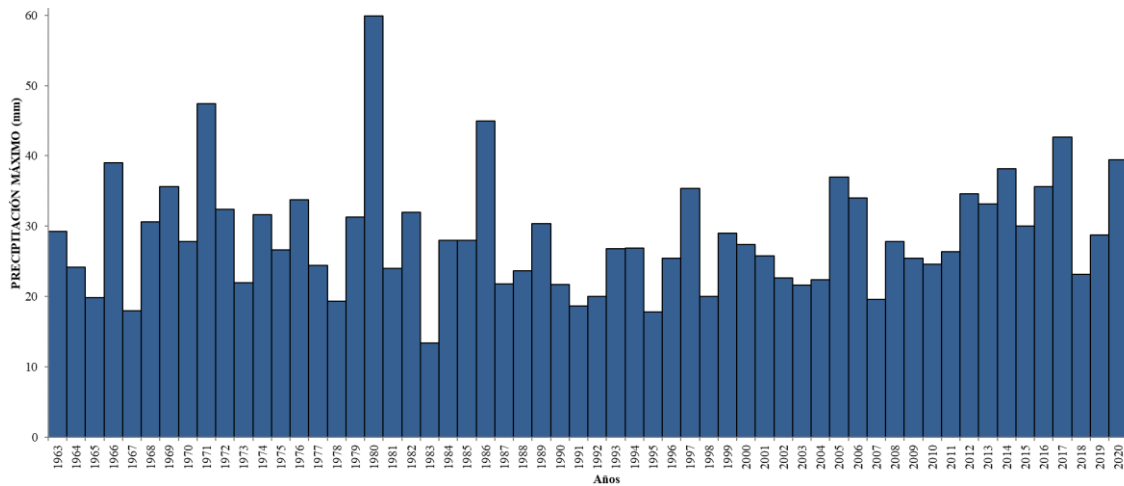


Figura 10. Hidrograma de registro histórico

Fuente: Elaboración propia

Con los datos completados y extendidos se tiene en total 58 datos históricos desde el año 1963 hasta el 2020, donde se ha realizado la prueba de datos dudosos como se muestra en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Prueba de datos dudosos

Parámetros estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	58	58
Sumatoria	1660,3	83,5481
Valor Máximo	59	1,771
Valor Mínimo	13,4	1,127
Media:	28,626	1,440
Varianza:	67,232	0,014
Desviación Estándar:	8,200	0,119
Coefficiente Variación:	0,286	0,083
Coefficiente de Sesgo:	1,1353	0,1555

Fuente: Elaboración propia

El análisis se ha realizado con un total de datos de 58 datos, con un nivel de significancia del 10%, en donde el valor recomendado fue de 2.8 según el número de datos, el cual representa que la precipitación máxima aceptada de PH = 59.40 mm, nos indica que no existen datos dudosos alto de la muestra; y la

precipitación mínima aceptaba $PH = 12.80$ mm, indica que no existen datos dudosos mínimo de la muestra.

Se tiene prueba de bondad de ajuste - método gráfico, de los 58 datos de la precipitación máxima de 24 horas, como se muestra en la **Tabla 11** y **Figura 11**; de todos los datos se encuentran entre 17.96 hasta 27.08 que representa el 44.8% y desde el 27.08 hasta 36.20 que representa el 37.9%, considerando ambos intervalos hacen el 82.7%

Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste

Amplitud de cada intervalo	Numero de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Función densidad
0,00	0,00	0,00	0	0	0
8,84	17,96	13,40	2	0,034	0,004
17,96	27,08	22,52	26	0,448	0,049
27,08	36,20	31,64	22	0,379	0,042
36,20	45,32	40,76	6	0,103	0,011
45,32	54,44	49,88	1	0,017	0,002
54,44	63,56	59,00	1	0,017	0,002

58

Fuente: Elaboración propia

Resultados de precipitación ponderada para diferentes periodos de retorno, obtenidos del área de influencia de cada estación en unidades hidrológicas. Además, existen frecuencias relativas, frecuencias relativas acumuladas y funciones de densidad del análisis de precipitación de 24 horas, como se muestra en la **Figura 11**.

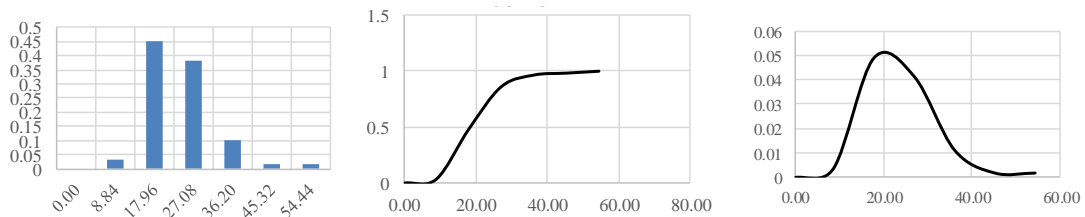


Figura 11. Frecuencia relativa, acumulada y función de densidad

Fuente: Elaboración propia

El resultado del análisis de consistencia - análisis estadístico, se ha considerado el análisis de saltos, consistencia de la media - desviación estándar; considerando la variable meteorológica: precipitación anual de los datos de precipitación de 24 horas, en el cual se ha separado en dos grupos que son de 1963 al 1992 y 1993 al 2020, como resultado no existe una diferencia significativa con respecto a la media y si existe una diferencia respecto a la consistencia de la media, se da este caso porque los datos no son uniformes en todo el periodo histórico.

Tabla 12. Análisis de consistencia - análisis estadístico

Estación	Periodo de análisis		Número de datos, promedio y desviación estándar			Consistencia de la media			Consistencia de la media						
			Nº datos	Promedio	Desviación estándar	Tc	Tt (95%)	Comparación	Diferencia significativa	Fc	Ft (95%)	Comparación	Diferencia significativa		
Mazocruz	n1	1963	al	1992	30,00	28,62	9,62	0,003	2,003	Tc < Tt	NO	1,351	3,347	Fc > Ft	SI
	n2	1993	al	2020	28,00	28,63	6,52								

Fuente: Elaboración propia

De las pruebas de bondad de ajuste se tiene la diferencia final e inicial Δ es $> \Delta_{max}$, $0,57940 > 0,1786$; con ese resultado se puede decir que la serie histórica si tiene consistencia; los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la distribución normal, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%.

Se ha calculado el número de curva, para el cálculo del caudal por el método de curvas numéricas desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN) de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1972). Este

método aplicable a pequeñas cuencas agrícolas, previa estimación de la retención máxima potencial de agua del suelo y la precipitación, permite estimar el escurrimiento con precisión aceptable, para este caso se tiene el cálculo de número de curva en la **Tabla 13**, para la subcuenca de Conduriri se ha calculado de 74.438 el número de curva.

Tabla 13. Cálculo de numero de curva

Cobertura Vegetal	CN	Subcuenca de Conduriri		
		Area km ²	% Participación	Parcial
Agricultura costera y andina	78			
Area altoandina con escasa y sin vegetacion	80	52,467	8,39%	6,710
Bofedal	96			
Bosque relicto altoandino	77	58,470	9,35%	7,198
Cardonal	74			
Glaciar	100			
Lagunas, lagos y Cochas	100	3,483	0,56%	0,557
Matorral arbustivo	73	442,999	70,82%	51,701
Pajonal andino	76	68,080	10,88%	8,272
Plantacion Forestal	70			
Area Total		625,498		
Numero de Curva				74,438

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se ha calculado los caudales máximos por el método SCS, para un periodo de retorno de 50, 100 y 200 años con el fin de considerar la vida útil de una obra hidráulica, lo cual se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Caudales máximos método SCS

TR	Q - SCS
50	340,253
100	431,451
200	512,886

Fuente: Elaboración propia

Los caudales que se calcularon para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años son 340.25, 431.45 y 512.87 m³/s respectivamente.

El caudal máximo, según el método Mac-Math, utiliza el coeficiente de caudal Mac-Math, representadas en las características de la cuenca, la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno, en mm; el área de la cuenca, en hectáreas, y la pendiente del canal principal, m/km.

Tabla 15. Factor de escorrentía de Mac Math

vegetacion		suelo		topografia	
Cobertura(%)	C1	Textura	C2	Pendiente(%)	Ca
100	0,080	Arenoso	0,080	0.0 - 0.2	0,040
80 - 100	0,120	Ligero	0,120	0.2 - 0.5	0,060
50 - 80	0,160	Media	0,160	0.5 - 2.0	0,060
20 - 50	0,220	Fina	0,220	2.0 - 5.0	0,100
0 - 20	0,300	Rocosa	0,300	5.0 - 10.0	0,150
Coefficiente de escorrentía	0,160		0,160		0,100
Total			0,420		

Fuente: Elaboración propia

El factor de escorrentía de Mac Math para la subcuenca de Conduriri es de 0.42, dicho dato se usó para el cálculo del caudal, en el cual se muestra en la **Tabla 16.**

Tabla 16. Caudal máximo de la quebrada para diferentes periodos de retorno – método Mac Math

Descripción	Período de retorno (años)									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
Precipitación Maxima 24 Horas P(mm)	41,53	49,30	55,18	61,05	62,94	68,82	74,69	80,57	88,33	94,21
Area de la Cuenca, (Hectareas)	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80	62549,80
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93	82,93
Factor de Escorrentia (°C)	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Caudal Maximo Calculado m ³ /s	67,504	80,126	89,675	99,223	102,296	111,845	121,393	130,941	143,563	153,111

Fuente: Elaboración propia

Con los datos procesados de las precipitaciones máximas de 24 horas, se ha calculado el hidrograma unitario adimensional de la subcuenca Conduriri **Tabla 17** y **Figura 12**, considerando el tiempo pico de 3.56 horas y un caudal pico de 104.21 m³/s.

Tabla 17. Cálculo del hidrograma unitario adimensional

Relación de Tiempos (T/Tp)	Tiempo (horas)	Relación de Descargas (q/q _p)	Descargas (m ³ /s)	Tiempo (horas)	Descargas (m ³ /s)
(a)	(a) *Tp	(c)	(c) *q _p		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,100	0,360	0,015	1,560	0,356	10,421
0,200	0,710	0,075	7,820	0,712	20,843
0,300	1,070	0,160	16,670	1,068	31,264
0,400	1,420	0,280	29,180	1,424	41,686
0,500	1,780	0,430	44,810	1,780	52,107
0,600	2,140	0,600	62,530	2,136	62,528
0,700	2,490	0,770	80,240	2,492	72,950
0,800	2,850	0,890	92,750	2,848	83,371
0,900	3,200	0,970	101,090	3,204	93,792
1,000	3,560	1,000	104,210	3,560	104,214
1,100	3,920	0,980	102,130	3,932	97,700
1,200	4,270	0,920	95,880	4,304	91,187
1,300	4,630	0,840	87,540	4,675	84,674
1,400	4,980	0,750	78,160	5,047	78,160
1,500	5,340	0,660	68,780	5,418	71,647
1,600	5,700	0,560	58,360	5,790	65,134
1,700	6,050	0,460	47,940	6,162	58,620
1,800	6,410	0,390	40,640	6,533	52,107
1,900	6,760	0,330	34,390	6,905	45,594
2,000	7,120	0,280	29,180	7,277	39,080
2,200	7,830	0,207	21,570	7,648	32,567
2,400	8,540	0,147	15,320	8,020	26,053
2,600	9,260	0,107	11,150	8,391	19,540
2,800	9,970	0,077	8,020	8,763	13,027
3,000	10,680	0,055	5,730	9,135	6,513
3,200	11,390	0,040	4,170	9,506	0,000
3,400	12,110	0,029	3,020		
3,600	12,820	0,021	2,190		
3,800	13,530	0,015	1,560		
4,000	14,240	0,011	1,150		
4,500	16,020	0,005	0,520		
5,000	17,800	0,000	0,000		

Posterior al análisis se ha realizado el hidrograma unitario, donde me indica el caudal pico como se muestra en la **Figura 12**.

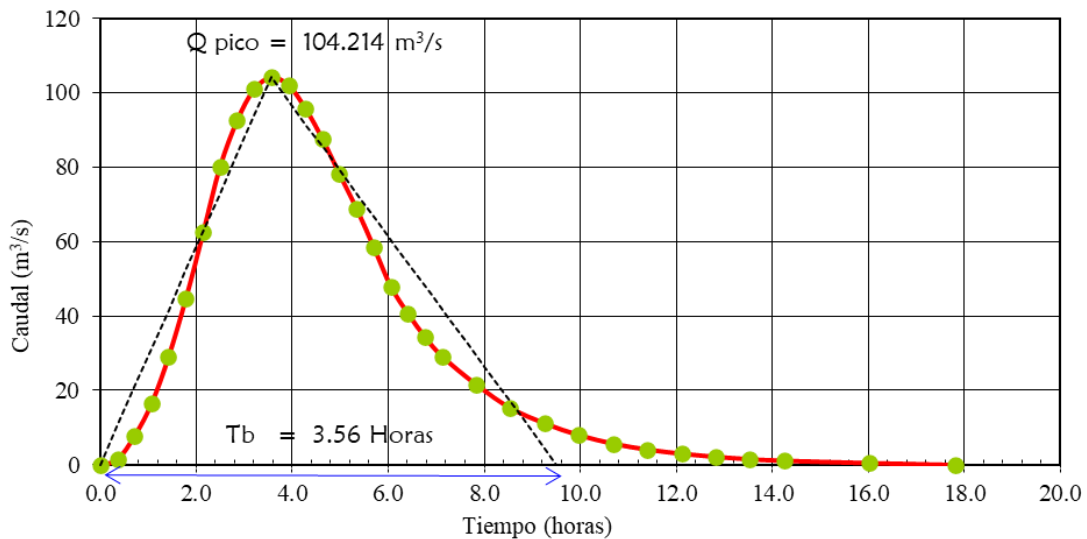


Figura 12. Hidrograma unitario

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Análisis del desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos

Para el análisis del desenvolvimiento de modelos empíricos y modelos probabilísticos se ha completado y extendido el historial de la precipitación de las 24 horas con 58 datos totales, para lo cual se ha realizado la prueba de estacionariedad de Sperman, como se muestra en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Prueba de estacionariedad de Sperman

1963 a 1993	rs	-0,22762
	Var(rs)	0,03333
	t	-1,24673
1994 a 2020	rs	0,46795
	Var(rs)	0,03846
	t	2,38608

Fuente: Elaboración propia

Dado que los valores de t en la prueba estacionaria de Spearman van desde $t_{2.5\%} = 1.96$ hasta $t_{97.5\%} = 1.96$, se concluye que la serie histórica es estacionaria.

Además, se tiene la comparación de valores estimados de la precipitación de 24 horas para los diferentes tiempos de retorno, **Tabla 19**.

Tabla 19. Comparación de valores estimados de la precipitación de 24 horas

Tr	Normal	Log normal 2 par.	Gumbel	Log gumbel	Log pearson III	Pearson tipo III
2	28,62	27,577	30,255	26,364	27,36	27,15
5	35,52	34,709	37,502	33,582	34,64	34,69
10	39,14	39,173	42,299	39,449	39,33	39,53
20	42,12	43,293	46,904	46,016	43,82	44,20
50	45,47	48,424	52,865	56,149	49,55	49,94
100	47,71	52,196	57,33	65,17	53,84	54,21
200	49,75	55,868	61,781	75,641	58,15	58,39
500	52,23	60,703	67,653	92,112	63,94	63,80
1000	53,97	64,328	72,085	106,804	68,44	67,90

Fuente: Elaboración propia

De la **Tabla 19**, se resume el análisis de los diferentes métodos de precipitación de 24 horas, para luego transformar en escurrimiento, el ajuste de los valores estimados, son muy buenos y la mejor distribución y ajuste tiene la distribución gamma, con 0.0342, que representa el 96.58%, que es más próximo al 100%.

Tabla 20. Ajuste de valores estimados

Δ TABULAR	ATEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES						
	DISTRIBUCION NORMAL	DISTRIBUCION LOGNORMAL 2 PARÁMETROS	DISTRIBUCION LOGNORMAL 3 PARÁMETROS	DISTRIBUCION GAMMA 2 PARÁMETROS	DISTRIBUCION LOG PEARSON TIPO III	DISTRIBUCION GUMBEL	DISTRIBUCION LOG GUMBEL
0,0897	0,0897	0,0370	0,0345	0,0553	0,0342	0,0377	0,0788
MIN Δ				0,0342			
				DISTRIBUCION LOGNORMAL 3 PARÁMETROS			

Fuente: Elaboración propia

El Ajustes de las precipitaciones de 24 horas, se muestra en la **Figura 13**, de los diferentes métodos probabilísticos empleados para determinar la precipitación con mayor ajuste.

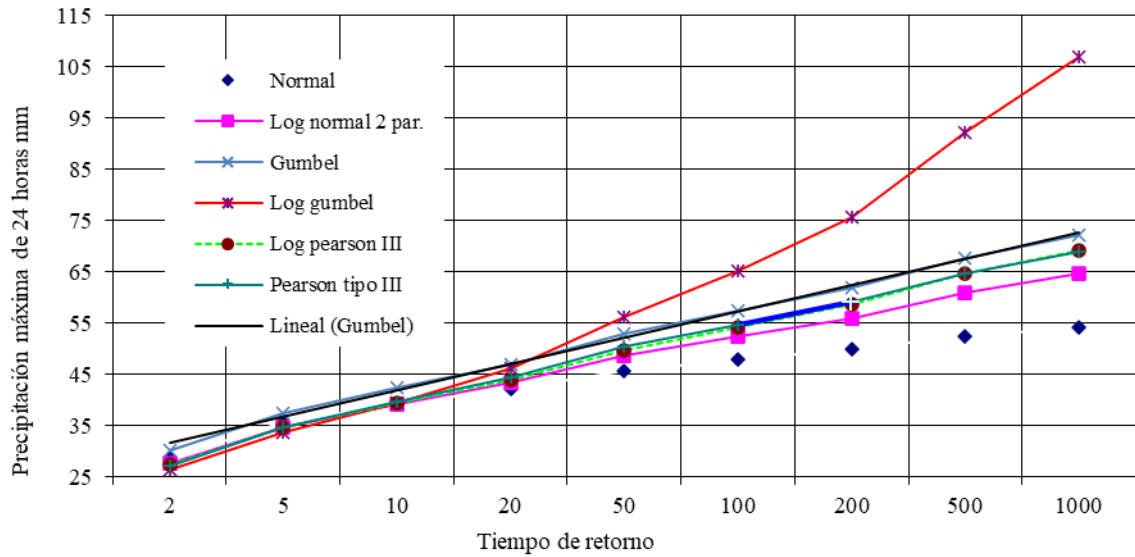


Figura 13. Ajustes de las precipitaciones de 24 horas

Fuente: Elaboración propia

Del análisis y evaluación de las precipitaciones de 24 horas, el método de mejor ajuste es del método de gamma o Pearson Tipo III, con esos datos se ha elaborado el cálculo de los caudales máximos para la subcuenca de Conduriri, como se muestra en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Cálculo de los caudales máximos para la subcuenca de Conduriri

Descripción	Período de retorno (años)		
	TR= 50	TR= 100	TR= 200
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm) - Gumbel	52,865	57,330	61,781
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm) - Normal	45,470	47,710	49,750
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm) - Gamma	49,940	54,210	58,390
Precipitación Máxima 24 Horas P(mm) - Corregida	68,817	74,692	80,567
Área de la Cuenca, (Hectáreas)	62549,800	62549,800	62549,800
Pendiente del cauce Principal: S (m/km)	82,930	82,930	82,930
Factor de Escorrentia ('C)	0,420	0,420	0,420
Caudal máximo calculado m ³ /s - Gumbel	85,919	93,176	100,409
Caudal máximo calculado m ³ /s - Normal	73,900	77,541	80,856
Caudal máximo calculado m ³ /s - Gamma	81,165	88,105	94,898
Caudal máximo calculado m ³ /s - Corregida	111,845	121,393	130,941
Caudal máximo calculado m ³ /s - SCS	340,253	431,451	512,886

Fuente: Elaboración propia

4.2 DISCUSIÓN

La caracterización de la cuenca lo realizaron los siguientes autores Briceño and Bello (2019); Chúa (2017); Flores (2020); Laura et al. (2014); Laura (2014); Lujano (2019); Mamani (2014); Mamani (2021); Portuguez (2017); Preciado (2018), para realizar los cálculos de caudales máximos, dichas caracterizaciones siguen el procedimiento de Gómez and García (2006); Visión Mundial (2001); se concuerda con todo con la mayoría de los autores citados para realizar los cálculos hidrológicos.

Además, existe el ajuste de la distribución de probabilidad como la calidad ajustada del modelo probabilístico, que tiene doble masa, en el que todas las estaciones las califican para 0.9658 cerdas como 1, en el R² ajustado.

En cuanto a la prueba t de Spearman y la prueba estacionaria, se realiza subdividiendo los años históricos del periodo de 1963 a 1993 y un segundo tiempo de 1994 a 2020, donde se puede decir que los valores El valor de t en la experimental de



Spearman stop se encuentra entre $t_{2.5\%} = 1.96$ y $t_{97.5\%} = 1.96$, concluyendo que la serie histórica es estacionaria. Sin embargo, otros autores no realizaron pruebas de estabilidad.

Respecto a la precipitación de 24 horas de las estaciones estudiadas existe una diferencia con Mamani (2014), en nuestro caso se consideró para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, los cuales fueron de 43.731, 46.556 y 48.364 mm respectivamente, donde se ha considerado los años de 1963 hasta el 2020 que son 58 años y Mamani (2014), considera del 1961 hasta el 2011, que son de 50 años.

En el análisis para calcular la precipitación corregida de 24 horas (Γ), los tiempos de retorno fueron 49.940, 54.210 y 58.390 mm, siendo el mejor ajuste la distribución corregida por Γ (Pearson Tipo III). El cálculo de caudal máximo según el método Mac-Math es de 111.845, 121.393 y 130.941 m^3/s ; Luego, se hizo un cálculo del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), la unidad hidrológica, que es 340.253, 431.451 y 512.886 m^3/s , respectivamente.

Para Mamani (2014), consideró tiempos de retorno de 5, 50 y 100 años, y obtuvo 126.40, 424.20 y 495.80 m^3/s , respectivamente, y modeló el modelo hidrológico de la cuenca del río Ayaviri, a través del modelo HEC-HMS; caudales calculados, según el método Mac-Math y por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), podemos decir que la unidad hidrológica acepta la hipótesis nula donde los caudales son uniformes y no existe diferencia estadística en los dos retornos (p -valor: 0.2547) y el método utilizado (p -valor: 0.6024). Los autores describen en el contexto de Aguilera (2007); Laura (2014); Mamani (2014); Chúa (2017) realiza estos cálculos, en todos sus análisis se ajusta lo necesario, según sea aceptable según el método utilizado.



En cuanto al análisis realizado, estadísticamente podemos decir que no hay diferencia estadística en el tiempo de retorno y los métodos utilizados, si hay diferencia en las características geomorfológicas de la cuenca para cada estudio. Pero si hay una similitud en los métodos utilizados.

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



V. CONCLUSIONES

- Las características de la cuenca son diferentes a los parámetros geomorfológicos de otras cuencas estudiadas, pero es importante realizar el estudio de caudales pico, las características de la cuenca son: área 625.498 km², circunferencia de 131.881 km, la longitud de la cuenca el recorrido tiene una longitud de 30.117 km, la pendiente es de 7.95%, la cota máxima es de 5331.00 msnm y la cota mínima de 3997.00 msnm.
- La distribución de probabilidad es la bondad de ajuste de los modelos de probabilidad bimasa, en la que se evalúan todas las estaciones para las que dan 0.9658 partículas de 1, en el ajuste de R².
- En cuanto a la prueba t de Spearman y la prueba estacionaria, se realiza subdividiendo los años históricos del periodo de 1963 a 1993 y un segundo tiempo de 1994 a 2020, donde se puede decir que los valores El valor de t en la experimental de Spearman stop se encuentra entre t 2.5% = 1.96 y t 97.5% = 1.96, concluyendo que la serie histórica es estacionaria. Sin embargo, otros autores no realizaron pruebas de estabilidad.
- En el análisis para calcular la precipitación corregida de 24 horas (Gamma), los tiempos de retorno fueron 49.940, 54.210 y 58.390 mm, siendo el mejor ajuste una distribución corregida por Gamma (Pearson Tipo III). El cálculo de caudal máximo según el método Mac-Math es de 111.845, 121.393 y 130.941 m³/s; Luego, se hizo un cálculo del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), la unidad de hidrología, que es 340.253, 431.451 y 512.886 m³/s, respectivamente.
- El caudal máximo encontrado por los métodos, se puede decir que se acepta la hipótesis nula cuando el caudal es uniforme y no existe diferencia estadística tanto



en los tiempos de retorno (p-valor: 0.2547) como en el método utilizado (p- valor: 0.6024). Por los análisis realizados, estadísticamente se puede decir que no hay diferencia estadística en el tiempo de retorno y los métodos utilizados, si hay diferencia en las características geomorfológicas de la cuenca para cada estudio. Pero si hay una similitud en los métodos utilizados.



VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario instalar una estación de medición permanente en el puente Conduriri con fines de investigación y calibración.
- Se recomienda establecer estaciones meteorológicas con pluviómetros, que nos permitan modelar y estudiar las tormentas en la cuenca del río Conduriri.
- Se deben realizar estudios sedimentarios, porque hay una cantidad constante de sedimento arrastrado que obstruye los canales y luego se desborda.
- Caudal máximo recomendado para el diseño de instalaciones de riego, para diferentes tiempos de retorno, el caudal se calcula a partir de las precipitaciones de 2 horas según el método de distribución de probabilidad de distribución Gumbel; Normalmente, Gamma u otro método, dado que es adecuado a la zona de estudio y los cálculos realizados tienen un buen ajuste, debe respetar las distintas pruebas de aptitud para ser de utilidad; Además, se pueden utilizar diferentes métodos para calcular el caudal de diseño.
- Dada la importancia de la cuenca del Conduriri y las subcuencas que la conforman, sería bueno instalar sistemáticamente una red de estaciones de observación y monitoreo meteorológico para recolectar y representar las variables necesarias para estudios posteriores.
- Se recomienda que las organizaciones de ingeniería científica pongan a disposición datos para realizar investigaciones y que sean comparables con nuevos estudios.



- Realizar investigaciones relacionadas con la gestión del riesgo considerando que los tramos bajos de la subcuenca Conduriri y la cuenca del Ilave están sujetos a desbordamientos e inundaciones, para que no se afecten más personas en las riberas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abudu, S. (2009). *Monthly and seasonal streamflow forecasting in the Rio Grande Basin* [New Mexico State University Las Cruces, New Mexico]. Las Cruces, New Mexico, MX.
- Aguilera, M. A. (2007). *Estimación de Funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule* Universidad de Talca]. Talca, CL.
- Alatorre, L., Portugués, S. B., Monreal, N. L. R., & Izquierdo, A. N. (2013). Modelización espacialmente distribuida de la erosión y el transporte de sedimento en cuencas de montaña del Pirineo aragonés: retos para la calibración y validación. *Cuadernos de investigación geográfica*(39), 287 - 314 p.
- Álvarez, A. J., Orduña, L. M., & Montañés, C. G. (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.
- Ander, E., & Valle, P. (2017). *Cómo elaborar monografías, artículos científicos y otros textos expositivos*. Homo Sapiens Ediciones. <http://168.121.45.179/handle/20.500.11818/590>
- Aparicio, F. J. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa. <https://doi.org/https://doi.org/10.37467/gka-revtechno.v4.898>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta*. Episteme.
- Baena, G. M. E. (2017). *Metodología de la investigación (3a. ed.)*. Grupo Editorial Patria.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación para administración y economía* (3 ed.). PEARSON.
- Breña, A. F., & Jacobo, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- 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* Universidad Católica de Colombia]. Bogotá DC, CO.
- Cajina, M., & Faustino, J. (2007). Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental; Cogestión de actores locales y acción colectiva en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Serie técnica. Informe técnico N° 355*, 46 p.



- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica*. Editotial San Marcos EIRLTDA.
- Chen, C. I. (1983). Rainfall intensity duration frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(12), 1603 - 1621.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology* (Vol. 1). McGraw-Hill.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Larry, W. M. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial McGrawHill Interamericana S.A.
- Chúa, R. (2017). *Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía* Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima, PE.
- Cruz, C., Olivares, S., & González, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Di, C., Yang, X., & Wang, X. (2014). A four-stage hybrid model for hydrological time series forecasting. *PloS one*, 9(8), e104663.
- Díaz, A. O. (2004). *Manejo de cuencas y gestión del riesgo a desastres naturales, en el área de la mancomunidad de los municipios del centro de Atlántida, Honduras* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Turrialba, CR.
- Díaz, G. S. (2019). *Modelamiento hidrológico e hidráulico del Río San Ramón para el diseño del Puente Evitamiento, Provincia de Satipo, Junín* Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola]. Lima, PE.
- Domínguez, M. C., Medina, M. d. C., & Martínez, M. I. (2018). *Metodología de investigación para la educación y la diversidad*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=725231>
- Esquivel, G., Nevarez, M. M., Velásquez, M. A., Sánchez, I., & Bueno, P. (2017). Hydrological modeling of a basin in Mexico s arid northern region and its response to environmental changes %J *Ingeniería agrícola y biosistemas*. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 9, 3 - 18 p.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico* (Vol. 2). World Water Assessment Programme (WWAP).
- Fernández, F. (1995). *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*.



- Flores, V. R. (2020). *Generación de máximas avenidas en la sub cuenca Torococha empleando métodos hidrológicos, para diseño del puente Torococha, Juliaca, Puno, 2020* Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil]. Lima, PE.
- Fresno, C. (2019). *Metodología de la investigación: así de fácil*. El Cid Editor. <https://reddolac.org/profiles/blogs/libro-metodologia-de-la-investigacion-asi-de-facil>
- Fuentes, D. D., Toscano, A. E., Malvaceda, E., Díaz, J. L., & Díaz, L. (2020). *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables* (1 ed.). Universidad Pontificia Bolivariana.
- Gallardo, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación: Manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental.
- Gómez, C., & García, J. (2006). Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia: Caja de herramientas para la zonificación ambiental en cuencas hidrográficas. *Bogotá, CO*, 39 p.
- Haan, C. T., Barfield, B. J., & Hayes, J. C. (1994). *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Elsevier.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). McGraw-Hill Interamericana. <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPLERI.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. J. (2014). Desarrollo de la perspectiva teórica: revisión de la literatura y construcción del marco teórico. In *Metodología de la Investigación* (pp. 58 - 87 p.). McGraw-Hill. http://metabase.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2772/506_3.pdf?sequence=1
- INEI. (2022). *Portal del INEI: Población y vivienda*. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Retrieved 30 de enero from <https://www.inei.gob.pe/>
- Jain, S. K., & Singh, V. P. (2019). *Engineering Hydrology: An introduction to processes, analysis, and modeling*. McGraw - Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259641978>
- Khan, M. A. (2015). *Flood Scour for Bridges and Highways: Prevention and Control of Soil Erosion*. McGraw - Hill Education.
- Laqui, W. F. (2010). Aplicación de redes neuronales artificiales a la modelización y previsión de caudales medios mensuales del río Huancané. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 2, 30 - 44 p.



- Laura, E. L., Laura, A. L., Quispe, J. P., & Laura, R. L. (2014). Pronóstico de caudales medios mensuales del río Ilave usando modelos de redes neuronales artificiales. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 16(1), 89 - 100 p.
- Laura, M. G. (2014). *Modelo regional aplicado a las maximas avenidas en las cuencas de los rios: Ilave, Callacame y Zapatilla* Universidad Nacional del Altiplano (UNA)]. Puno, PE.
- Lavado, W. S., Labat, D., Guyot, J. L., Ronchail, J., & Ordonez, J. J. (2009). TRMM rainfall data estimation over the Peruvian Amazon-Andes basin and its assimilation into a monthly water balance model. *New Approaches to Hydrological Prediction in Datasparse Regions, Proceedings of Symposium HS*, Pekín, IN.
- Lavado, W. S., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2012, 2012/05/01). Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal*, 57(4), 625 - 642 p.
- Llamas, J. M. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Universidad del País Vasco.
- Loizu, J. (2017). *Evaluation of the improvement of streamflow prediction through the assimilation of remotely sensed soil moisture observations* Public University of Navarra]. Navarra, ES.
- Lujano, E. (2019). *Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú* Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, PE.
- Mackenzie, L. D. (2019). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice, Second Edition*. McGraw - Hill Education.
- Mamani, H. (2014). *Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri – Puno* Universidad Nacional del Altiplano (UNA)]. Puno, PE.
- Mamani, J. A. (2021). *Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020* Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil]. Lima, PE.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/59788>
- Mejía, J. A. M. (2012). *Hidrología aplicada* (Vol. 1). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Melesse, A. M., Abteu, W., & Senay, G. (2019). *Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation*. Elsevier.



- Mias, C. D. (2018). *Metodología de investigación, estadística aplicada e instrumentos neuropsicología: guía práctica para investigación*. Editorial Brujas.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (4 ed.). Ediciones de la U.
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (5 ed.). Ediciones de la U.
- Planasdemunt, M. R. (2016). *Characterization of hydrological processes in a Mediterranean mountain research catchment by combining distributed hydrological measurements and environmental tracers* Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Programa de Doctorat en Enginyeria Ambiental. Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de L'aigua (IDAEA). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)]. Barcelona, ES.
- Portuguez, D. M. (2017). *Aplicación de la geoestadística a modelos hidrológicos en la cuenca del río Cañete* Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Maestría en Recursos Hídricos]. Lima, PE.
- Preciado, J. A. (2018). *Metodología para el pronóstico del caudal en cuencas no aforadas* Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería Secretaría de Investigación y Posgrado]. Chihuahua, MX.
- Righetto, A. M. (1998). *Hidrologia e recursos hídricos*. Universidade de São Paulo (USP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC).
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas* (Vol. 3). Biblioteca Lascasas. <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Singh, V. P. (2017). *Handbook of Applied Hydrology, Second Edition* (2nd edition. ed.). McGraw - Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071835091>
- Singh, V. P. (2018). *Entropy theory in hydrologic science and engineering* (H. Cui, B. Sivakumar, & V. P. Singh, Eds.). McGraw - Hill Professional.
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.
- Tucci, C. E. (2003). Inundações e drenagem urbana. In *Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos* (pp. 45 - 141 p.). Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Uehara, K., Zahed, K., Silveira, L. N. L. d., & Eiger, S. (1980). Pequeñas bacías hidrográficas do Estado de Sao Paulo; estudo de vazoes médias e máximas. In



- Pequenas bacias hidrograficas do Estado de Sao Paulo; estudo de vazoes médias e máximas* (pp. 708). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).
- Valderrama, S. R. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. San Marcos.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Diaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vilcahuamán, I. C. (2015). *Concepto de medidas de prevención para reducir el riesgo de desastre por huaicos en Ica* Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería]. Lima, PE.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Visión Mundial. (2001). *Manual de manejo de cuencas*. Visión Mundial Canadá.
- Wang, W. (2006). *Stochasticity, nonlinearity and forecasting of streamflow processes*. IOS Press.
- Wood, P., & Smith, J. (2017). *Investigar en educación: conceptos básicos y metodología para desarrollar proyectos de investigación*. Narcea Ediciones.
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W. (2015, 2015/09/01/). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall–runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528, 599 - 612 p.
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., Lavado, W., & Aragon, L. (2017). Hydrological modeling of the Peruvian – Ecuadorian Amazon Basin using GPM-IMERG satellite - based precipitation dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3543 - 3555 p.
- Zubieta, R., Laqui, W. F., & Lavado, W. (2018). Modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011-2015, Puno, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9, 85 - 105 p.
- Zury, W. (2004). *Manual de planificación y gestión participativa de cuencas y microcuencas una propuesta con enfoque de desarrollo local*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).



ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico



Figura 14. Área de bofedales



Figura 15. Aforo del río Chichillapi

ANEXO 2: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema general ¿Cuánto es el caudal máximo de diseño, Determinar los caudales máximos ayudarán como Métodos empleando métodos hidrológicos en la máxima para diseño de datos de investigación para el diseño Hidrológicos subcuenca del río Conduirni?</p>	<p>Objetivo general Determinar los caudales máximos ayudarán como Métodos de datos de investigación para el diseño Hidrológicos obras hidráulicas en la de obras hidráulicas en la subcuenca Conduirni</p>	<p>Hipótesis general Los caudales máximos ayudarán como Métodos de datos de investigación para el diseño Hidrológicos obras hidráulicas en la de obras hidráulicas en la subcuenca Conduirni</p>	<p>V1: Métodos Hidrológicos</p>	<p>D1: Hidrograma Unitario de Clark</p> <p>D2: Hidrograma Unitario de Snyder</p> <p>D3: Hidrograma Unitario de Snyder</p>	<p>I1: Tiempo de concentración de la cuenca</p> <p>I2: Coeficiente de almacenamiento</p> <p>I3: Velocidad de propagación</p> <p>I1: Tiempo de concentración de la Aplicada</p> <p>I2: Tiempo base</p> <p>I3: Tiempo base</p> <p>I1: Tiempo de retardo de la cuenca</p> <p>I2: Coeficiente pico de la cuenca</p> <p>I3: Flujo base</p> <p>I1: Características morfométricas</p> <p>I2: Características físicas</p> <p>I3: Red de drenaje</p> <p>I1: Intensidad de precipitación</p> <p>I2: Duración de la precipitación</p> <p>I3: Frecuencia de la precipitación</p>	<p>Método científico</p> <p>Tipo: de la Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: No experimental</p> <p>Muestra: Subcuenca del río Conduirni</p> <p>Técnica: Observación directa</p> <p>Instrumento: Ficha de recolección de datos</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS ¿Cuánto es la máxima avenida de diseño, Caracterización geomorfológica de la microcuenca, máximos hidrograma unitario de Clark en la subcuenca del río Conduirni? ¿Cuánto es el caudal máximo de diseño, máximos de diseño Los diferentes métodos para empleando el método del hidrograma mediante la utilización de los caudales máximos de unitario triangular SCS en la subcuenca del métodos empíricos. ¿Cuánto es el caudal máximo de diseño, desvolvíamiento utilizando el método del hidrograma modelos empíricos y los modelos probabilísticos nos darán unitario de Snyder en la subcuenca del río modelos probabilísticos. Conduirni?</p>	<p>Objetivos específicos Caracterización geomorfológica de la microcuenca, máximos hidrograma unitario de Clark en la subcuenca del río Conduirni? Determinar los caudales físicos de la microcuenca. ¿Cuánto es el caudal máximo de diseño, máximos de diseño Los diferentes métodos para empleando el método del hidrograma mediante la utilización de los caudales máximos de unitario triangular SCS en la subcuenca del métodos empíricos. Analizar desvolvíamiento utilizando el método del hidrograma modelos empíricos y los modelos probabilísticos nos darán unitario de Snyder en la subcuenca del río modelos probabilísticos. Conduirni?</p>	<p>Hipótesis específicas Mediante la caracterización Caudales geomorfológica de la microcuenca, máximos nos permitirá entender los problemas Clark en la subcuenca del río Conduirni? Los caudales físicos de la microcuenca. Los diferentes métodos para determinar los caudales máximos de diseño se adecuarán para la utilización de métodos empíricos. El análisis de los modelos empíricos y los modelos probabilísticos nos darán escenarios para los diferentes tiempos de retorno.</p>	<p>V2: Caudales</p>	<p>D1: Cuenca</p> <p>D2: Precipitación</p> <p>D3: Respuesta hidrológica de la cuenca</p>	<p>Muestra: Subcuenca del río Conduirni</p> <p>Técnica: Observación directa</p> <p>Instrumento: Ficha de recolección de datos</p>	

Fuente: Elaboración propia



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANZ REQUELNER RAMOS BAUTISTA,
identificado con DNI 47240990 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" DETERMINACION DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DISEÑO DE OBRAS
HIDRAULICAS EN LA SUBCUENCA CONDURIRI

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 14 de ABRIL del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FRANZ REQUELMER RANTOS BAUTISTA,
identificado con DNI 47240990 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRÍCOLA,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ DETERMINACION DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DISEÑO
DE OBRAS HIDRAULICAS EN LA SUBCUENCA
CON DURIRI ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 14 de ABRIL del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella