



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Br. Zela Galiano, Iván Fritz

<https://orcid.org/0000-0002-9417-8621>

ASESOR:

Dr. Ing. Vargas Chacaltana, Luis Alberto

<https://orcid.org/0000-0002-4136-7189>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mis padres, Darío y Mercedes, personas importantes en mi vida, quienes se esforzaron incansablemente para que yo pueda ser una persona mejor día a día.

A Raquel, mi amada esposa, por ser mi compañera y amiga más grande, que comparte conmigo nuestras luchas y metas familiares para consolidar nuestro hogar.

A mis amados hijos Josué Baruc y Dariel Joaquín, hermosos hombres que iluminan mis días con sus ocurrencias, a quienes con mi amor y esfuerzo les doy y deseo lo mejor.

Agradecimiento

A Dios, mi amado señor quien es mi fortaleza y mi castillo, quien guía mis pasos y me muestra el verdadero amor.

A mi asesor, Dr. Ing. Luis Alberto Vargas Chacaltana, por esas incansables noches de asesoría, colaboración y la disposición de compartir sus conocimientos y experiencias, y así poder llevar acabo la culminación de mi investigación de tesis.

A la Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por acogerme en estos momentos tan complicados que vive hoy día nuestra sociedad y que hace posible el cumplimiento de uno de mis objetivos presentes.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. MÉTODOLOGIA.....	27
3.1. Tipo y diseño de investigación	27
3.2. Variables y operacionalización.....	28
3.3. Población, Muestra y Muestreo.....	28
3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos, validez y confiabilidad....	29
3.5. Procedimiento de aplicación	29
3.6. Método de análisis de datos.....	44
3.8. Aspectos éticos	45
IV. RESULTADOS.....	46
V. DISCUSIÓN.....	81
VI. CONCLUSIONES	85
VII. RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS.....	89
ANEXOS	95

Índice de tablas

Tabla 1: Áreas de referencia para unidades hidrográficas	12
Tabla 2: Valores críticos d para la prueba Kolmogorov Smirnov	16
Tabla 3: Grupos de suelo para el método SCS	20
Tabla 4: Numero de curvas de escorrentía	20
Tabla 5: Fórmulas para la determinación del tiempo de concentración.....	23
Tabla 6: Valores de coeficiente de rugosidad Manning (n).....	25
Tabla 7: Estaciones meteorológicas empleadas	35
Tabla 8: Resumen de datos, estaciones meteorológicas empleadas	35
Tabla 9: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Salcca.....	36
Tabla 10: Caudales de 24 horas para la cuenca del rio Salcca	37
Tabla 11: Cuadro de análisis de estadístico de caudales máximos	37
Tabla 12: Cuadro de análisis de consistencia, precipitaciones máximas 24h.....	39
Tabla 13: Análisis regional de precipitación, ecuación de regresión precipitación-Altitud	41
Tabla 14: Registro de precipitación para la cuenca Salcca	42
Tabla 15: Registro de precipitación para la cuenca Salcca	44
Tabla 16: Accesibilidad a la zona de estudio	48
Tabla 17: Calculo de los parámetros de distribución	50
Tabla 18: Prueba de bondad Chi Cuadrado.....	51
Tabla 19: Prueba de bondad Kolmogorov Smirnov	51
Tabla 20: Caudales máximos en T=2 años, cuenca Salcca.....	52
Tabla 21: Caudales máximos en T=5 años, cuenca Salcca.....	53
Tabla 22: Caudales máximos en T=10 años, cuenca Salcca.....	54
Tabla 23: Caudales máximos en T=20 años, cuenca Salcca.....	55
Tabla 24: Caudales máximos en T=50 años, cuenca Salcca.....	56
Tabla 25: Caudales máximos en T=100 años, cuenca Salcca	57
Tabla 26: Caudales máximos en T=200 años, cuenca Salcca	58
Tabla 27: Caudales máximos en T=500 años, cuenca Salcca	59
Tabla 28: Reporte de periodos de transición, 2021	60

Índice de figuras

Figura 1: Partes de una cuenca hidrografica	11
Figura 2: Ciclo hidrológico del agua	12
Figura 3: Modelo de Clark.....	17
Figura 4: Modelo de Clark.....	18
Figura 5: Variables del método SCS	19
Figura 6: Metodología de aplicación para métodos probabilísticos	31
Figura 7: Metodología de aplicación para métodos hidrometeorológicos.....	33
Figura 8: Metodología de aplicación para determinación de tramos en riesgo.....	34
Figura 9: Análisis gráfico, caudales estación Salcca.....	38
Figura 10: Diagrama de cajas y bigotes, caudales estación Salcca	38
Figura 11: Análisis gráfico, precipitación estación Sicuani	39
Figura 12: Análisis gráfico, precipitación estación Salcca	40
Figura 13: Análisis gráfico, precipitación estación Pomacanchi	40
Figura 14: Grafica del Análisis regional de precipitación	41
Figura 15: Análisis de frecuencia, serie histórica precipitación Easyfit	42
Figura 16: Análisis de frecuencia, precipitación Easyfit	43
Figura 17: Prueba de bondad, precipitación Easyfit.....	43
Figura 18: Hietogramas de precipitación de T = 2, 5, 10 y 20 años.....	44
Figura 19: Hietogramas de precipitación de T = 50, 100, 200 y 500 años.....	44
Figura 20: Mapa de ubicación a nivel regional y provincial	47
Figura 21: Mapa de ubicación a nivel distrital y cuenca Salcca.....	48
Figura 22: Software Easyfit, datos de caudales Salcca, serie histórica de 25 años	49
Figura 23: Software Easyfit, distribuciones probabilísticas empleadas	50
Figura 24: Caudales máximos en T=2 años, cuenca Salcca	52
Figura 25: Caudales máximos en T=5 años, cuenca Salcca	53
Figura 26: Caudales máximos en T=10 años, cuenca Salcca	54
Figura 27: Caudales máximos en T=20 años, cuenca Salcca.....	55
Figura 28: Caudales máximos en T=50 años, cuenca Salcca	56
Figura 29: Caudales máximos en T=100 años, cuenca Salcca.....	57
Figura 30: Caudales máximos en T=200 años, cuenca Salcca.....	58
Figura 31: Caudales máximos en T=500 años, cuenca Salcca.....	59
Figura 32: Caudales máximos en T=años, cuenca Salcca	60

Figura 33: Caudales máximos – umbrales de riesgo	61
Figura 34: Software HEC HMS, hidrogramas unitarios Clark, Snyder y SCS	63
Figura 35: Software HEC HMS, modelo de simulación correctamente generado	63
Figura 36: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=2 años.....	64
Figura 37: Caudales máximos, hidrogramas en T=2 años.....	64
Figura 38: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=5 años.....	65
Figura 39: Caudales máximos, hidrogramas en T=5 años.....	65
Figura 40: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=10 años	66
Figura 41: Caudales máximos, hidrogramas en T=10 años.....	66
Figura 42: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=20 años	67
Figura 43: Caudales máximos, hidrogramas en T=20 años.....	67
Figura 44: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=50 años	68
Figura 45: Caudales máximos, hidrogramas en T=50 años.....	68
Figura 46: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=100 años	69
Figura 47: Caudales máximos, hidrogramas en T=100 años	69
Figura 48: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=200 años	70
Figura 49: Caudales máximos, hidrogramas en T=200 años	70
Figura 50: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=500 años	71
Figura 51: Caudales máximos, hidrogramas en T=500 años	71
Figura 52: Caudales máximos en T=años, cuenca Salcca	72
Figura 53: Caudales máximos, hidrogramas– umbrales de riesgo	73
Figura 54: Software HEC RAS, creación de los componentes de diseño.....	74
Figura 55: Software HEC RAS, Importación de la cuenca de trabajo, parte baja	75
Figura 56: Software HEC RAS, modelo de simulación correctamente generado.....	75
Figura 57: Reporte HEC RAS, perfil de inundación.....	76
Figura 58: Reporte HEC RAS, resultado de inundación.....	77
Figura 59: Reporte HEC RAS, resultado de inundación, satelital	77
Figura 60: Aplicativo RIVER - ANA, creación del proyecto	78
Figura 61: Aplicativo RIVER - ANA, dimensionamiento de muro longitudinal.....	78
Figura 62: Acumulación de sedimentos antes del puente Combapata	79

Resumen

Los estudios hidrológicos en el Perú son poco frecuentes, debido principalmente a la escases de información meteorológica y a la poca especialización profesional; para la determinación de caudales máximos, existen diferentes metodologías descritas en la bibliografía, dentro de las cuales se tienen las probabilísticas y las hidrometereologicas, la primera se basa en el análisis de frecuencias (estadística) que tienen la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos y la segunda relaciona funciones de entrada y salida, así por ejemplo podemos mencionar el modelo hidrológico HEC HMS, en su síntesis (precipitación – escorrentía). El río Salcca pertenece a la cuenca del rio Urubamba con unidad Hidrografica 4994, políticamente pertenece a los distritos de Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe y Marangani de la provincia de Canchis, departamento de Cusco; tiene un área de 2331.70 Km² y un perímetro de 321.80 Km. Para el estudio se emplearon las estaciones meteorológicas de Sicuani, Sallca y Pomacanchi. De los resultados para metodologías probabilísticas, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años se tiene: Distribución Log Normal 3P: 85.45, 94.50, 100.59, 106.49, 114.25, 120.16, 126.17 y 134.31 (m³/s); Distribución Gamma 3P: 85.56, 94.83, 100.76, 106.25, 113.10, 118.07, 122.90 y 129.13 (m³/s); Distribución Log Pearson Tipo III : 85.59, 94.81, 100.84, 106.58, 114.00, 119.58, 125.19 y 132.71 (m³/s); Distribución Valor Tipo I (Gumbel): 85.64, 94.67, 100.65, 106.39, 113.82, 119.38, 124.93 y 132.24 (m³/s) y Distribución Normal: 87.32, 95.92, 100.42, 104.13, 108.31, 111.10, 113.65 y 116.74 (m³/s) respectivamente. Para metodologías hidrometereologicas, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años se tiene: Hidrograma unitario Clark: 59.6, 78.1, 94.9, 113.9, 142.8, 168.4, 197.1 y 240.1 (m³/s); Hidrograma unitario Snyder: 60.8, 79.7, 96.4, 115.6, 145.2, 170.9, 200.3 y 244.5 (m³/s); Hidrograma unitario SCS: 74.6, 98.3, 119.4, 143.4, 180.7, 213.4, 250.0 y 304.9 (m³/s) respectivamente.. Con los caudales resultantes se propusieron medidas como la construcción de diques longitudinales – laterales, dragado de sedimentos – descolmatacion y reforestación de la cuneca alta y media.

Palabras clave: Caudales máximos, modelos probabilísticos, modelos hidrometereologicos

Abstract

Hydrological studies in Peru are infrequent, mainly due to the scarcity of meteorological information and little professional specialization; For the determination of maximum flows, there are different methodologies described in the bibliography, within which there are probabilistic and hydrometeorological ones, the first is based on the analysis of frequencies (statistics) that have the purpose of estimating rainfall, intensities or flows maximums and the second relates input and output functions, so for example we can mention the hydrological model HEC HMS, in its synthesis (precipitation - runoff). The Salcca river belongs to the Urubamba river basin with Hydrographic unit 4994, politically it belongs to the districts of Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe and Marangani of the province of Canchis, department of Cusco; It has an area of 2331.70 km² and a perimeter of 321.80 km. For the study, the meteorological stations of Sicuani, Sallca and Pomacanchi were used. From the results for probabilistic methodologies, for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 years, we have: 3P Log Normal Distribution: 85.45, 94.50, 100.59, 106.49, 114.25, 120.16, 126.17 and 134.31 (m³/s); Gamma 3P distribution: 85.56, 94.83, 100.76, 106.25, 113.10, 118.07, 122.90 and 129.13 (m³/s); Log Pearson Type III distribution: 85.59, 94.81, 100.84, 106.58, 114.00, 119.58, 125.19 and 132.71 (m³/s); Type I Value Distribution (Gumbel): 85.64, 94.67, 100.65, 106.39, 113.82, 119.38, 124.93 and 132.24 (m³/s) and Normal Distribution: 87.32, 95.92, 100.42, 104.13, 108.31, 111.10, 113.65 and 116.74 (m³/s) respectively. For hydrometeorological methodologies, for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 years we have: Clark unit hydrograph: 59.6, 78.1, 94.9, 113.9, 142.8, 168.4, 197.1 and 240.1 (m³/s); Snyder unit hydrograph: 60.8, 79.7, 96.4, 115.6, 145.2, 170.9, 200.3 and 244.5 (m³/s); SCS unit hydrograph: 74.6, 98.3, 119.4, 143.4, 180.7, 213.4, 250.0 and 304.9 (m³/s) respectively. With the resulting flows, measures such as the construction of longitudinal - lateral dikes, sediment dredging - de-clogging and reforestation were proposed. of the upper and middle.

Keywords: Maximum flows, probabilistic models, hydrometeorological models.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional; La población mundial en su mayoría vive en las costas y en zonas aledañas a ríos (cuencas hidrográficas) en las cuales no se gestionan de manera eficiente el uso y cuidado del recurso hídrico ante fenómenos de origen natural. El agua es irremplazable para la vida y uno de los mayores riesgos mundiales, las crecidas de ríos son peligros comunes relacionados con el agua, en Colombia se identificaron que existen unos 190.93 millones de km², aproximadamente el 17% del área de su territorio nacional que presenta condiciones favorables para la inundación. Ecuador en el año 2017 registro aumentos significativos en los caudales de agua de sus principales ríos, que afectaron principalmente los sectores de vivienda y agricultura en un 54% de los costos totales, si se estimaron que ese año se perdió por los efectos de las inundaciones US\$ 237,9 millones de dólares. No obstante, merecen una atención especial la interacción de los fenómenos naturales hidrometeorológicos extremos y la gestión de riesgos, y que instituciones internacionales e internas, puedan recurrir a estudios propios (como la determinación de caudales máximos en variados periodos de retorno) y realizados en los espacios que presentan riesgos a la vida humana y sus medios de vida (económico, ambiental y social).

A nivel nacional, En el Perú la característica principal es presentar épocas de avenida (lluvias) con aumentos significativos de caudales de agua en las regiones geográficas, y época de estiaje (sequias). En Perú se presentaron fenómenos anómalos en los años 1982 - 1983, 1997 - 1998 y la más reciente en 2017, originados por el Fenómeno del Niño, resultando en que la temperatura del mar se incrementa, evento que se presentó especialmente a lo largo de la costa norte y valles interandinos. El Perú cuenta con instituciones estatales especializadas en el recurso hídrico, como son el SENAMHI, ANA, entre otros, que se encuentran articulados por los distintos niveles de gobierno (nacional, regional y distrital), estas instituciones administran, regulan, registran y evalúan el recurso hídrico del territorio nacional peruano, además que la ley establece que debe hacerse una planificación por cada cuenca de río, como también la conformación de consejos (grupos de personas que hacen uso del agua en funciones a sus propios fines) para cada uno. La ANA tiene la autorización para que no se construyan o planteen obras

que alteren los cauces de los ríos, como viviendas ilegales, edificaciones, obras públicas, obras recreativas y demás, pero al parecer todos los estudios y esfuerzos parecen insuficientes y generan desconfianza en la población.

A nivel local, La cuenca Salcca es parte de la cuenca del río Urubamba - Vilcanota con unidad Hidrográfica 49949 y a su vez es parte de la cuenca del río Urubamba Vilcanota con unidad Hidrográfica 4994, políticamente pertenece a los distritos de Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe y Marangani, provincia de Canchis y departamento de Cusco; En épocas de lluvias el río Salcca incrementa su caudal considerablemente, este incremento se evidencia a lo largo de su trayecto, principalmente en la parte baja, muy cercana a la desembocadura con el río Vilcanota (Cercano a la capital del distrito de Combapata), esto causa el desbordamiento e inundación y que posteriormente presenta daños económicos, sociales, ambientales y a la salud.

Los pobladores residentes a lo largo de la cuenca del río Salcca, refieren la importancia del río Salcca en sus actividades diarias, relacionados principalmente a la vivienda, producción (agricultura y ganadería), comercio y comunicación, indican que se registraron eventos catastróficos en el año 1998, 2010 y el último en el 2017, señalado también por el INDECI (2017) "Lluvias intensas producen desborde del río Salcca y Vilcanota en el valle del Salcca en la localidad de Combapata inundando terrenos de cultivo en un aproximadamente de 11 hectáreas y carreteras en 80 metros lineales".

Analizando la realidad problemática, es preciso la formulación del problema, considerando como **problema general**:

¿Cuántos son los caudales máximos mediante metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021?

Además de ello se plantean, los siguientes problemas específicos:

1). ¿Cuánto son los caudales máximos mediante metodologías probabilísticas en el río Salcca?; 2). ¿Cuánto son los caudales máximos mediante metodologías hidrometeorológicas en el río Salcca?; 3). ¿Cuáles son las propuestas de diseño para los tramos susceptibles a inundación aplicando las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas en el río Salcca?

Justificación de la tesis de investigación

La investigación de tesis que se presenta, se plantea a razón de no existir la determinación de caudales máximos actualizados, pretende ser una información científica para que los estudiantes, profesionales, diseñadores, proyectistas e instituciones del estado o privadas, usen los caudales máximos apropiados y técnicamente obtenidos.

Justificación Teórica, permitirá determinar resultados en base a las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas (modelos hidrológicos) de los caudales máximos y podrá ser sujeto de un debate académico en función al caudal máximo apropiado y técnicamente obtenido.

Justificación Metodológica, el logro del objetivo propuesto, se recurrirá al empleo de procedimientos, técnicas de investigación, secuencias metodológicas e instrumentos de medición, todos ellos darán resultados del caudal máximo apropiado y técnicamente obtenido.

Justificación Técnica, permitirá realizar una adecuada gestión adecuada del recurso hídrico, mediante el uso de herramientas computacionales, mejorando las condiciones de adaptabilidad frente a eventos naturales.

Justificación Social, permitirá el diseño de obras hidráulicas y la zonificación territorial, consecuentemente generando puestos de trabajo y quizá podrá aumentar la calidad de vida de las poblaciones que residen en la cuenca del río Salcca.

Para la realización del presente problema se plantea el siguiente **objetivo general**:

Determinar que caudales máximos se obtienen, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021.

Además de ello se plantean, los siguientes objetivos específicos:

- 1). Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas en el río Salcca.
- 2). Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas en el río Salcca.

3). Proponer medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo a causa de los caudales máximos resultantes en el río Salcca.

También se plantea la siguiente **hipótesis** general:

Con la aplicación de metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas se determinan los caudales máximos, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021

Además de ello se plantean, las siguientes hipótesis específicas:

Mediante la aplicación de metodologías probabilísticas, se obtienen caudales máximos, en el río Salcca.

Mediante la aplicación de metodologías hidrometeorológicas, se obtienen caudales máximos, en el río Salcca.

Con los caudales máximos resultantes se proponen medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo en el río Salcca.

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se expone el marco teórico referente a la investigación de tesis; Marco teórico que se basa en antecedentes a nivel internacional, nivel nacional, investigaciones en otros idiomas como el inglés y publicaciones de revistas de investigación, se presenta también la conceptualización de las principales bases teóricas necesarias para la presente investigación.

A continuación, se presentan trabajos de investigación a **nivel internacional**, que fueron tomados en cuenta como antecedentes para la presente investigación.

Oñate (2017); cuyo **objetivo** general fue: Desarrollar una metodología para la determinación de caudales extremos, además de generar y analizar escenarios y estudiar su efecto en la respuesta hidrológica de una cuenca; la **metodología** es: Tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental; da como **resultado**: Los parámetros de la cuenca: El área es 121,70 km² y el tiempo de concentración es 236,20 minutos. Se determinó el caudal máximo mediante los métodos probabilísticos, se tiene 1,182 m³/s y 1,605 m³/s para periodos de retorno de 50 años y 100 años y mediante HEC HMS 1,290 m³/s y 1,670 m³/s para periodos de retorno de 50 años y 100 años; se **concluye** que: Al realizar la comparación de los caudales obtenidos por el modelo (HEC HMS) y los calculados probabilísticamente por el ajuste de distribución con la data de máximos anuales registrados de la estación hidrométrica la Palma, no se observaron diferencias significativas. Por ello la calibración fue satisfactoria.

Díaz et al. (2017), cuyo **objetivo** general fue: Estimar los caudales máximos del sector hidrológico de la quebrada el Diamante, mediante la modelación con HEC.HMS; la **metodología** es: Tipo aplicada, diseño no experimental y nivel descriptivo; da como **resultado**: De los parámetros morfométricos de la quebrada (sector hidrológico) el Diamante se tienen: El área es 17.28 km², perímetro es 29.69 km, longitud del cauce principal es 6.91 km, pendiente es 46.76 % y el tiempo de concentración t_c es 37.50 minutos. Las máximas avenidas obtenidas son 342.60 m³/s por métodos manuales, 350.40 m³/s usando modelos HEC-HMS y 436.80 m³/s con el método racional, en caso del método racional, el caudal encontrado es mayor, esto porque no se cumple las limitaciones requeridas para el área en estudio

de la cuenca la cual debe ser menor a 80 ha; se **concluye** que: Los caudales máximos generados para la quebrada el Diamante, son fundamentales e importantes para el diseño de estructuras y sobre todo estructuras que permitan la protección de los pobladores, frente a eventos extremos de inundación, los cuales, si se presentan y no se cuenta con alguna obra o estructura que permita su regulación, afectaría de manera negativa los medios de vida de la población. El hidrograma unitario triangular y el hidrograma unitario curvilíneo tienen resultados similares y con la determinación de los caudales por el método racional estos resultan mayores que los demás.

Arteaga (2017), cuyo **objetivo** general fue: Evaluar el modelo hidrológico HEC HMS para la predicción y crecidas en base a registros históricos en la cuenca del río Cañar; la **metodología** es: Tipo aplicada y nivel descriptivo; da como **resultado**: De las características fisiográficas de la cuenca en estudio, se tiene: El área es 2246.16 km², perímetro es 423.8 km, longitud del cauce principal es 107.81 km, pendiente es 20.47%. Se estimó el caudal mediante el modelo hidrológico HEC HMS, haciendo uso de los métodos de hidrogramas unitarios de la SCS, Snyder y Clark, se obtuvieron caudales pico de 2,437.70 m³/s, 750.40 m³/s y 838.80 m³/s, respectivamente; con los datos obtenidos se realizó la validación mediante la simulación de 04 eventos diarios donde se observa que los hidrogramas simulados sobrestiman los caudales observados, obteniéndose eventos buenos e insatisfactorios; se **concluye** que: Que la mitad de los eventos simulados para máximas crecidas, fueron calibrados y generados satisfactoriamente y que la utilización del modelo HEC HMS para la estimación de eventos como la crecida de aguas (caudales) en la cuenca del río cañar es parcial y es que debemos tomar en cuenta la importancia de los datos de precipitación y los vacíos que muchas veces se encuentran en ella. aceptando los hidrogramas de Snyder y Clark como los más próximos.

A continuación, se presentan trabajos de investigación a **nivel nacional**, que fueron tomados en cuenta como antecedentes para la presente investigación.

Mamani (2021), cuyo **objetivo** general fue: Determinar los caudales máximos mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020; la **metodología** es: Tipo aplicada, diseño no experimental y enfoque

cuantitativo; da como **resultado**: De las características fisiográficas de la cuenca en estudio, se tiene: El área es 3,717.24 km², perímetro es 359.43 km, longitud del cauce principal es 82.9 km, pendiente es 7.73%. Se estimó el caudal mediante los métodos convencionales probabilísticos obteniéndose, para periodos de 50, 100 y 200 años, valores de 224.92, 213.01, 219.25 m³/s para la distribución Gamma (Pearson Tipo III), valores de 270.3, 293.13, 315.89 m³/s para la distribución Gumbel y valores de 206.16, 213.02, 219.25 m³/s para la distribución normal, respectivamente.; se **concluye** que: Se realizó el análisis de caudales máximos mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, por tres métodos como son las distribuciones Gumbel, Normal y Gamma (Pearson Tipo III). En base a las estaciones meteorológicas seleccionadas Ayaviri, Chuquibambilla, Pampahuta, Llally y Santa Rosa, la información proporcionada por SENAMHI, de las precipitaciones máximas en 24 horas, se realizaron el análisis de frecuencia para la determinación de caudales, dentro de las cuales se puede mencionar que no existe diferencia estadística significativa y que la distribución Gamma (Pearson Tipo III) obtuvo mejores resultados.

Flores (2020), cuyo **objetivo** general fue: Generar máximas avenidas de diseño empleando métodos hidrológicos en la sub cuenca del río Torococha; la **metodología** es: Tipo aplicada, nivel explicativo y diseño no experimental; da como **resultado**: El estudio se realizó para tres microcuencas independientes signadas con codificación W40 que presenta un área de 31.32 Km² y perímetro de 41.14 Km, W50 que presenta un área de 11.12 Km² y perímetro de 27.98 Km y W60 que presenta un área de 18.33 Km² y perímetro de 24.38 Km. Para el estudio se hizo uso de las precipitaciones máximas en 24 horas analizadas mediante las distribuciones teóricas Normal, Log-Normal, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, y Gumbel, según el análisis de periodos de retorno se tomó en cuenta 140 años y 500 años, posteriormente se hizo uso de las metodologías hidrológicas mediante la aplicación del software HEC HMS en cuyo contenido se determinó los caudales mediante el método SCS, se tiene los caudales máximos de 49.80 m³/s para T = 140 años y 76.60 m³/s para T = 500 años, en el caso del método de Snyder, se tiene los caudales máximos de 32.10 m³/s para T = 140 años y 49.20 m³/s para T = 500 años y para el caso de método Clark se tiene los caudales máximos de 34.90 m³/s para T = 140 años y 53.50 m³/s para T = 500 años; se **concluye** que: Las

avenidas máximas (Caudales) que se generaron mediante la aplicación de métodos hidrológicos, para la cuenca en estudio (rio Torococha), fue para (T=140 años) de 34.90 m³/s y para (T=500 años) de 53.50 m³/s, estos valores pueden ser empleados para el diseño de la estructura del puente Torococha de la ciudad de Juliaca. Se presenta también que los métodos utilizados en la plataforma del software HEC HMS caso del hidrograma unitario de Clark es el más idóneo seguido del hidrograma de Snyder y SCS.

Garcia e Infante (2018), cuyo **objetivo** general fue: Determinar el caudal máximo para el diseño de defensas ribereñas en el sector Tamarindo de la margen izquierda del rio Tumbes; la **metodología** es: Tipo aplicada y diseño no experimental; da como **resultado**: Se hizo el análisis de los datos históricos de caudales máximos, con número de registro de 36 años, correspondiente a la estación el Tigre, en donde se obtuvo un caudal medio de 1,491 m³/s, realizado la determinación del caudal máximo de diseño aplicando los métodos Gumbel Tipo I se tiene 3,592.7 m³/s y Log Pearson tipo III se tiene 3,975.6 m³/s, se realizó el diseño la defensa ribereña mediante el uso de una sección de dique enrocado y mediante la simulación hidráulica con defensa ribereña se tiene un área inundable de 319 Ha y con defensa ribereña 131 Ha; se **concluye** que: Cumplido los objetivos, se tiene que, para los caudales máximos determinados mediante las metodologías estadísticas, se eligió el caudal obtenido por el método de Gumbel Tipo I ya que este presentó un mayor coeficiente de correlación frente al método Log Pearson tipo III, la cual se usó para realizar el modelamiento de la defensa ribereña y que con esta se estima que el área inundable se reduce en un 14.20 %.

Se presentan algunas investigaciones en otros idiomas como el inglés, que fueron consultados para la presente investigación:

A.L. Kay et al (2020), cuyo **objetivo** es: Conocer los posibles aumentos futuros de las inundaciones debido al cambio climático y que deben tenerse en cuenta al diseñar defensas contra inundaciones o planificar nuevas infraestructuras y desarrollo de viviendas; da como **resultado**: Se aplica un modelo hidrológico basado en cuadrículas a escala nacional, produciendo superficies de respuesta a inundaciones modeladas para cada celda de río en una cuadrícula de 1 km, todos ellos fueron comparados con las proyecciones de cambio climático actuales, para

tres periodos de tiempo; se **concluye** que: Se debe aplicar una variedad de modelos hidrológicos y evaluar las diferencias en las superficies de respuesta modeladas frente a las diferencias en la estructura del modelo y el desempeño de la línea de base.

Correia et al (2020), cuyo **objetivo** es: Evaluar diferentes distribuciones de probabilidad de lluvias intensas y determinación del IDF; da como **resultado**: Para el dimensionamiento, diseño y análisis de obras de ingeniería hidráulica, la estimación de la precipitación es primordial en el proyecto. Se hicieron uso de varias funciones de probabilidad, como las distribuciones empíricas y teóricas, dentro de los cuales se analizaron las distribuciones de Gumbel (GUM), dos parámetros Log-Normal (LN2P), Valor Extremo Generalizado (GEV) y la distribución Gamma (GAM2P), para ello se hizo uso de una serie de datos proporcionados por la Agencia Nacional de Agua de estado de Pernambuco – Brasil, posteriormente se realizaron las pruebas de ajuste como son las de Kolmogorov Smirnov (KS) y Chi-cuadrado de Pearson (χ^2); se **concluye** que: Es importante realizar el análisis de los datos históricos y se determinó que las distribuciones de probabilidad que mejor destacaron fueron las GEV, LN2P y GUM.

Stella y Anagnostou (2018), cuyo **objetivo** es: Realizar la modelización hidrológica para determinar la respuesta a las inundaciones en la cuenca sub tropical en el sur de Florida; da como **resultado**: Realizar un pronóstico de los eventos naturales como son las inundaciones en cuencas, es un área de estudio muy importante dentro de la investigación direccionada a la modelación hidrológica. Dentro de los cuales se tienen las intensas lluvias en las cuencas, que son utilizados para determinar los impactos potenciales en las determinaciones de la gestión de cuencas hidrográficas, y sobre todo en los períodos de caudales altos. Para el presente estudio se optó el modelo HEC-HMS para estimar las descargas acumuladas en la cuenca ubicada en West Palm Beach, sur de Florida, EE.UU. el modelo fue calibrado para periodos de 5 años; se **concluye** que: Que en bases a los estudios y a la simulación de gran precisión de los caudales acumulados de agua que serán expulsados por la cuenca West Palm Beach, sur de Florida, EE. UU, el modelo es aceptable y que este puede ser utilizado para determinar diferentes escenarios de gestión en condiciones de caudales altos.

Se presentan algunos artículos científicos, obtenidas de aquellas páginas que se encuentra indexadas para investigación y que fueron consultados para la presente investigación:

Duque et al (2019), cuyo **objetivo** es: Simular el comportamiento hidrológico de la microcuenca Chaquilcay; da como **resultado**: Se determinaron los parámetros propios de la cuenca, haciendo uso del software ArcGis 10.1 y para la simulación hidrológica hicieron uso del software HEC HMS 4.1, se realizó la construcción de la curva IDF para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, a partir del cual se realizó la determinación de los caudales de la microcuenca Chaquilcay en el país de Ecuador usando el método del número de curvas SCS; se **concluye** que: Se obtuvieron caudales 1.70 m³/s, 1.80 m³/ y 1.90 m³/s, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, que la aplicación del método SCS deberá ser usado para cuencas menores y que es importante para cuencas que no cuentan con suficiente información hidrometeorológica y en especial para las cuencas del Ecuador.

Suarez et al (2019), cuyo **objetivo** es: Estimar la curva intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas, mediante distribuciones de probabilidad en Tunja - Colombia; da como **resultado**: Resolvieron y propusieron un modelo matemático que fue sometido a distribuciones de probabilidad, donde posteriormente realizaron la creación de la curva IDF, que es útil para el cálculo de los caudales; se **concluye** que: La función de probabilidad Gumbel es la más óptima y que la información obtenida es fundamental en la ingeniería para el diseño de obras y la gestión de riesgos de desastres, que el método matemático obtenido es debatible dentro de los rangos aceptables estadísticamente y que estos no deben emplearse o aceptarse dogmáticamente.

Salazar et al (2019), cuyo **objetivo** es: Realizar la modelización hidrológica e hidráulica de un río intra-urbano, al noreste de México; da como **resultado**: El estudio se realizó físicamente en la cuenca del río nuevo y se basaron fundamentalmente para determinar la tormenta de diseño, que resulta ser una estimación bastante fundamental para el cálculo de los caudales, para este caso se hicieron uso de periodos de retorno de 20, 50, 100 y 500 años, se propone como resultado la incorporación de los modelos hidrológicos, apoyados por el análisis regional de frecuencia; se **concluye** que: Mediante la utilización del programa HEC

HMS y el programa HEC RAS se concluye que las dimensiones hidrométricas resultan de 0.10 m a 6.00 m para la cuenca del río nuevo y en un evento extremo, esta llegaría a inundar terreno que van de 190.55 a 237.83 hectáreas.

A continuación, se desarrolla los principales bases teorías relacionadas al tema de investigación:

La **cuenca hidrográfica**; Dentro de la definición propia de la hidrología, se define como el área o territorio natural, que se encuentra delimitado por una línea topográfica, ubicada en las cimas de los cerros principalmente o denominados Divortium Aquarium, esta área recoge las precipitaciones y las encausa (drena - agua de escorrentía) llevándolas a un colector común, que se designa generalmente como río principal. (Vásquez et al, 2016, cap. 1.1)

Las cuencas alto andinas (presente estudio) presentan por lo general tres partes descritos a continuación:

Parte alta, En esta área se reúnen la mayor cantidad de agua, en forma de lluvia o nevados, por lo que en este espacio las precipitaciones son más abundantes.

Parte media, se ubican los valles interandinos, que se caracterizan por tener un clima templado y variado, cuya función principal es el escurrimiento del agua.

Parte baja, En su entorno se encuentran extensas zonas agrícolas y principales emplazamientos como ciudades y viviendas

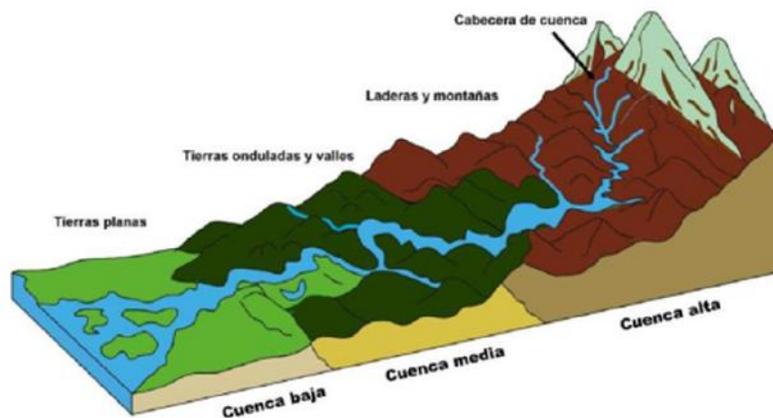


Figura 1: Partes de una cuenca hidrografica
Adaptado de Vásquez et al, 2016, pág. 21

La cuenca hidrográfica por lo general se subdividen en: Cuencas, Sub Cuencas y Microcuencas, de acuerdo a su área o extensión, de manera general podemos decir:

Tabla 1: Áreas de referencia para unidades hidrográficas

Unidad Hidrográfica	Área Miles de Hectáreas	Área Km ²
Cuenca	> 50	> 500
Sub cuenca	5 a 50	50 a 500
Micro cuenca	< 5	< 50

Fuente: Adaptado de Vásquez et al, 2016

El **ciclo hidrológico**; Definido como el pilar en el estudio de la hidrología. Este no cuenta con un principio o con un fin y los diversos sucesos ocurren en forma continua. (Chow et al, 1994, cap. 1.1). La Figura 1 muestra los procesos o sucesos y el espacio donde se desarrolla el ciclo hidrológico del agua.

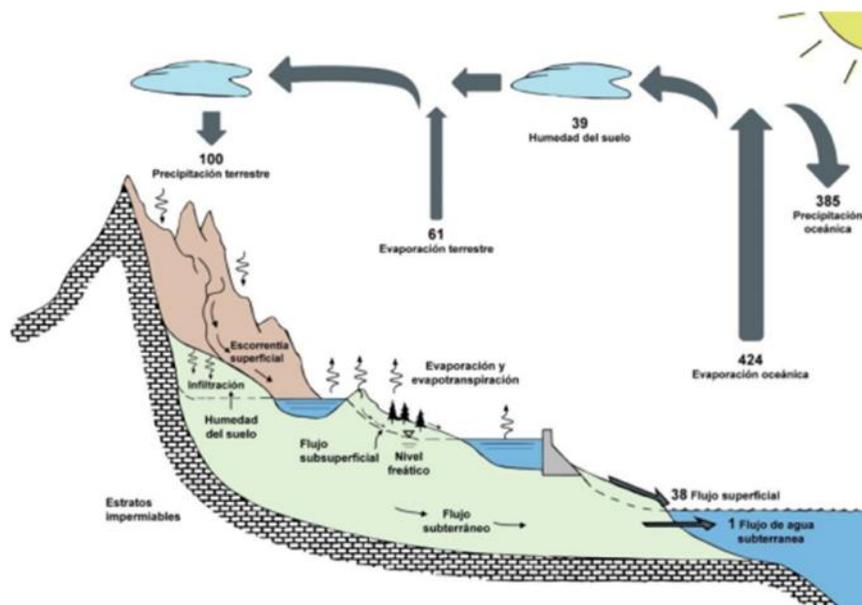


Figura 2: Ciclo hidrológico del agua
Adaptado de Chow et al, 1994, cap. 1.1

El **caudal**; es un dato que se obtiene y no es más que la determinación del volumen de agua que discurre por una sección transversal de agua (sección cerrada, canal, río, acequia, etc.), en la unidad de tiempo, el caudal máximo es definido como el volumen máximo de agua por unidad de tiempo (m³/s, L/s) que puede o no sobrepasar la sección y el tirante de una corriente.

El caudal máximo, es el volumen de agua máximo que discurre en un tiempo determinado (minuto, hora, día, mes o año) que se usa en función del criterio necesario y funcionalidad necesaria.

El **periodo de retorno (T)**; Es el tiempo de estudio que se genera en, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada "T" años; Se le denomina Período de Retorno "T". (MTC, 2011, cap 3.6)

El "T" nos permite cuantificar la probabilidad para un evento extremo, en este caso aplicaremos la formula siguiente.

$$P Q \leq q = 1 - 1/T \quad (1)$$

Donde:

P : Probabilidad de que ocurra un evento.

T : Tiempo de retorno en años

Los **métodos probabilísticos**; Se basan en el análisis de frecuencias que tienen como fin la estimación de las precipitaciones, intensidades y los caudales máximos, según sea la investigación o estudio, siempre estimados para diferentes tipos de períodos de retorno. Para la probabilística y/o estadística se cuentan con diversas diversas fórmulas o llamadas también distribución teóricas; se recomienda el uso de diversas funciones. (MTC, 2011, cap. 3.7).

El análisis de frecuencia (Probabilística o estadística) es un instrumento basado en pronosticar el comportamiento de los caudales y de las precipitaciones para un determinado tiempo (futuro) y para un determinado lugar (espacio de interés), a partir del registro de series históricas de caudales y de precipitaciones. Es una metodología basada en técnicas estadísticas que permiten estimar o determinar la importancia y magnitud de las series históricas que se ven interrelacionados a un periodo de retorno. Su veracidad dependerá en qué medida se estudian los parámetros de calidad y longitud de la serie histórica (Paredes Pinto, 2015).

A continuación, se tienen: Distribución Gamma 3 Parámetros, Distribución Normal, Distribución Log Normal de 3 Parámetros, Distribución Log Pearson Tipo III, Distribución Valor Tipo I (Gumbel). (MTC, 2011, pág.18):

- **Distribución Gamma 3 Parámetros (3P)**

Contiene los parámetros siguientes:

Xo : Origen de la variable (x), parámetro de posición

Y : Parámetro de forma

: Parámetro de escala ($\beta > 0$)

Función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (2)$$

- **Distribución Normal**

Contiene los parámetros siguientes:

x : Variable independiente

μ : parámetro de localización

s : parámetro de escala

Función de densidad normal

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad (3)$$

- **Distribución Log Normal de 3 Parámetros (3P)**

Contiene los parámetros siguientes:

Xo : Parametro de posición

Uy : Parametro de escala

S² : Parametro de forma

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0) 2\pi S_y} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x-x_0) - u_y}{S_y}\right)^2} \quad (4)$$

- **Distribución Log Pearson Tipo III**

Contiene los parámetros siguientes:

Xo : Parametro de posición

: Parametro de forma

: Parametro de escala

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln(x-x_0))^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln(x-x_0))}{\beta}}}{x^{\beta} \Gamma(\gamma)} \quad (5)$$

- Distribución valor tipo I (Gumbel)

Definida también como la distribución de valores extremos, llamada también distribución doble experimental, Valor Extremo Tipo I o Fisher – Tippett Tipo I, tiene la siguiente expresión

$$f(x) = -\alpha e^{-\alpha(x-\beta)} \quad (6)$$

Haciendo uso del método de los momentos resulta:

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1.285}{\sigma} \quad (8)$$

Donde:

α : Parametro de concentración

β : Parametro de localización

- Pruebas de bondad de ajuste

Llamadas también como pruebas de hipótesis, por lo general son utilizadas para valorar si un conjunto de series históricas (datos) son una muestra independiente de la distribución elegida. En la bibliografía estadística, se presentan diversas funciones, pero las recomendadas y quizá conocidas son la de: (MTC, 2011, pág. 23)

La prueba chi cuadrado (χ^2): Fue desarrollada por Karl Pearson (1900 aproximadamente), es utilizada para verificar la bondad de las distribuciones probabilísticas normales y logarítmicas normales.

Por lo general se usa para definir si el conjunto de información (datos) se ajusta a una distribución planteada. Se considera una muestra aleatoria que presenta un tamaño “n” de la distribución de una variable aleatoria X dividida en k clases exhaustivas e incompatibles, y sea N_i $i = 1, 2, \dots, k$. el número de observaciones en la i-ésima clase. Considérese la hipótesis nula - $H_0: F(x)=F_0(x)$

El modelo de probabilidad que se propone $F_0(x)$ tendrá que estar especificado completamente, en referencia a los demás parámetros.

La prueba Kolmogorov – Smirnov: Una prueba de bondad cuando $F_0(x)$ es continua es la de Kolmogorov Smirnov. No necesariamente resulta que los datos estén agrupados en intervalos y es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Se fundamenta en una confrontación entre las funciones de distribución acumulativas que se observan en la muestra ordenada y en la distribución

propuesta bajo la hipótesis nula. Consideremos la hipótesis nula $H_0: F(x)=F_0(x)$, en donde $F_0(x)$ se especifica de forma completa. Denótese por $x(1), x(2), \dots, x(n)$ a las observaciones ordenadas de una muestra aleatoria de tamaño n ; y defínase la función de distribución acumulativa muestra como:

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < x_1 \\ k/n & \text{si } x_k \leq x \leq x_{k+1} \\ 1 & \text{si } x \geq x_k \end{cases} \quad (9)$$

Si la hipótesis nula es correcta las diferencias entre $S_n(x)$ y $F_0(x)$ serán pequeñas. El estadístico de Kolmogorov Smirnov se define como

$$D_n = \max |S_n(x) - F_0(x)| \quad (10)$$

El estadístico D_n tiene una distribución que es independiente del modelo propuesto bajo la hipótesis nula, y depende tan solo del tamaño de la muestra. En la tabla adjunta en la hoja de cálculo, se proporcionan valores cuantíes superiores de D_n para varios tamaños de la muestra. Para un error de tipo I de tamaño α , la región crítica es de la forma:

$$P D_n > \frac{c}{\sqrt{n}} = \alpha \quad (11)$$

Este presenta un valor crítico d , que está en función del número de datos y en función del número de significancia, puede ser obtenida usando la siguiente tabla:

Tabla 2: Valores críticos d para la prueba Kolmogorov Smirnov

Tamaño de la muestra	=0,10	=0,05	=0,01
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Adaptado de Aparicio, 1999, mencionado por (MTC, 2011, pág. 25)

Los **métodos hidrometereológicos**; Se define principalmente por la existencia de parámetros de entrada y salida de un sistema, dichos parámetros de entrada definirán el comportamiento de todo el sistema, sin el uso de una probabilidad o ley alguna. Entonces se define una de las funciones que es nombrada como entrada, a su vez está integrada por parámetros y variables para posteriormente en base al

análisis y estudio obtener una función que es nombrada como salida, definida perfectamente.

El modelo hidrológico que usa el HEC HMS es un perfecto ejemplo ya que, en su síntesis (escorrentía - precipitación) se clasificaría como hidrometeorológico o determinístico. (Fatorelli, 2018, cap. 7.1)

- **Hidrograma unitario, modelo de Clark**

Clark utiliza dos parámetros (T_c – Tiempo de concentración y R – Coeficiente de almacenamiento) y la interacción tiempo y área para definir el hidrograma unitario. (Fatorelli y Fernández, 2011)

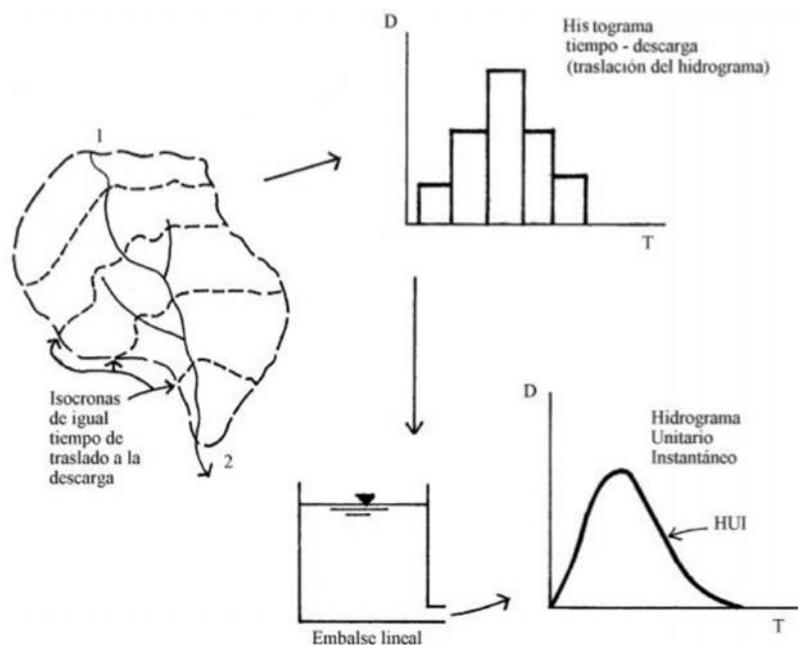


Figura 3: Modelo de Clark
 Adaptado de Fatorelli y Fernández, 2011, capítulo 07, pág. 239

Se define por la siguiente expresión:

$$q = \frac{2.78 \cdot A}{vt} \tag{12}$$

Donde:

- q : Caudal, m³/s
- A : Superficie de la hoya, Km²
- t : Intervalo de tiempo, Horas

- **Hidrograma unitario, modelo de Snyder**

Snyder define ecuaciones que muestran las características propias del hidrograma unitario, las ecuaciones calculan un pico y una base del hidrograma unitario. (Fatorelli y Fernández, 2011)

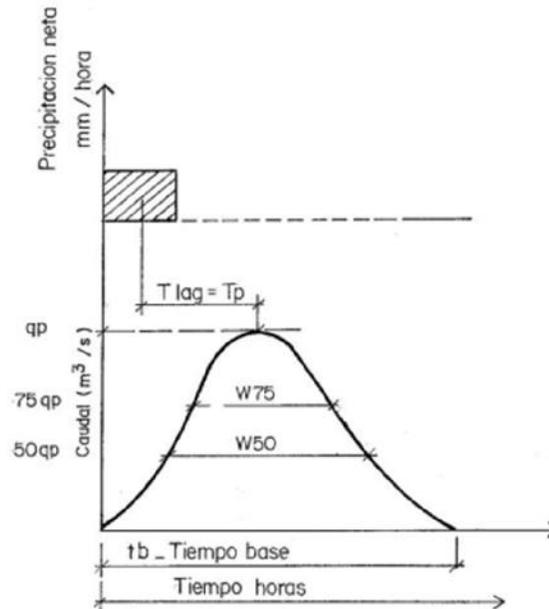


Figura 4: Modelo de Clark
Adaptado de Fatorelli y Fernández, 2011, capítulo 07, pág. 243

Se define por la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{0.2778 C_p A}{T_p} \quad (13)$$

Donde:

Q_p : Caudal pico, m^3/s

C_p : Coeficiente empírico (Retención y almacenamiento) 0.40 – 0.90

A : Area de la cuenca, Km^2

T_p : Tiempo, Horas

- **Hidrograma unitario, método del servicio de conservación de suelos (SCS)**

Método que fue desarrollado por la SCS por sus cifras e inglés, Soil Conservation Service, Está basada en la relación que existe entre la precipitación que cae en un área (cuenca) en función a sus variables (Tipo de suelo, pendiente, grado de humedad, cobertura, etc.). (Fatorelli y Fernández, 2011)

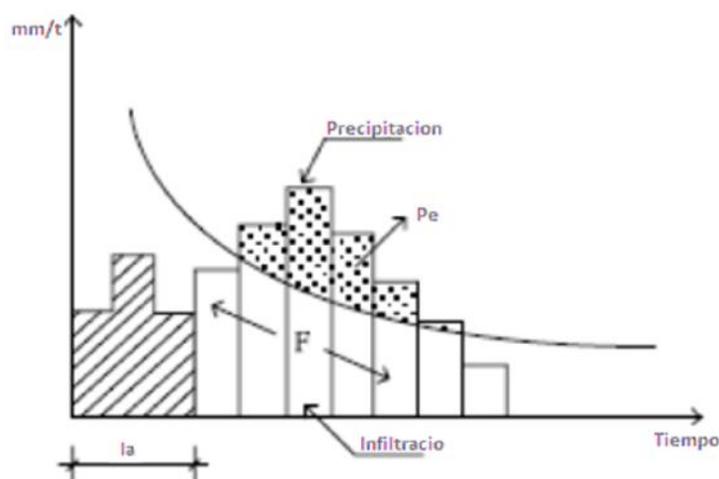


Figura 5: Variables del método SCS
Adaptado de Fatorelli y Fernández, 2011, capítulo 07, pág. 246

Se define por la siguiente expresión:

$$\frac{F}{S} \text{ y } \frac{Pe}{Pt} \quad (14)$$

Donde:

- F : Retención real de agua durante la lluvia
- S : Máxima capacidad de retención de agua en la cuenca
- Pe : Precipitación directa
- Pt : Precipitación total de la tormenta

El uso de la metodología SCS y de los demás métodos, exigen la determinación del número de curvas (CN), que corresponde al área específica de investigación, este valor se obtendrá por procesos de calibración, El número adimensional de curvas (CN) ha sido tabulado en función a las características del suelo y el uso del suelo, en la cual se describen cuatro grupos, que se muestran la tabla 3 y tabla 4:

Tabla 3: Grupos de suelo para el método SCS

Grupo	Definición
Grupo A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados
Grupo B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa
Grupo C	Margas arcillosa, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla
Grupo D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos

Fuente: Adaptado de MTC, 2011, pág. 38

Tabla 4: *Numero de curvas de escorrentía*

Uso del suelo o cubierta	Tratamiento o practica	Condición hidrológica	Grupo de suelo hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	Mala	77	86	91	94
	Surco recto	Mala	72	81	88	91
Cultivo en surcos	Surco recto	Buena	67	78		89
	En contorno	Mala	70	79	84	88
	En contorno	Buena	65	75	82	86
	En contorno y terraceado	Mala	66	74	80	82
	En contorno y terraceado	Buena	62	71	78	81
Granos pequeños	Surco recto	Mala	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	73	87
	En contorno	Mala	63	74	85	85
	En contorno	Buena	61	73	8	84
	En contorno y terraceado	Mala	61	72	79	82
	En contorno y terraceado	Buena	59	70	78	81
Leguminosas de siembra densa o praderas de rotación	Surco recto	Mala	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno y terraceado	Mala	63	73	80	83
	En contorno y terraceado	Buena	51	67	76	80
Praderas o pastizales		Mala	68	79	86	89
		Aceptable	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	En contorno	Mala	47	67	81	88
	En contorno	Aceptable	25	59	75	83
	En contorno	Buena	6	35	70	79
Praderas (Permanente)		Buena	30	58	71	78
		Mala	45	66	77	83
Bosques (en predios agrícolas)		Aceptable	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Parques, patios			59	74	82	86

Fuente: Adaptado de MTC, 2011, pág. 39

Adicionando información de Vásquez et al, 2016, pág. 39

Los **Hietogramas de diseño**, las metodologías hidrometeorológicas requieren no solo del valor de precipitación y del valor de intensidad de diseño para distintos periodos de retorno, sino también la distribución en el tiempo o temporal la que podemos definir como tormenta de diseño, es decir la metodología estudia el comportamiento de las tormentas en el tiempo que se observan. (MTC, 2011, cap. 3.10)

Hydrologic Modelling System por sus siglas **HEC HMS** perteneciente al Hydrologic Engineering Center es un modelo que pertenece al Cuerpo de la Marina de los Estados Unidos de Norteamérica, es un software diseñado para estimar o simular los procesos hidrológicos de los sistemas de las cuencas hidrográficas. Se caracteriza por presentar un entorno de trabajo íntegramente completo, incluyendo una base de datos, herramientas de entrada de los datos, motor de cálculo y herramientas para la información de resultados. Presenta una interfaz gráfica de usuario que permite desplegarse sin inconvenientes en los diferentes componentes del programa. (U.S. Army Corps of Engineers, 2021)

Los **parámetros geomorfológicos**; Se definen como todas las características físicas de las cuencas, principalmente se tienen: área, perímetro, longitud del cauce principal, densidad de drenaje, tiempo de concentración, sistemas de drenaje, forma de la cuenca, suelos, relieve, etc. Dichas características principalmente se interrelacionan con la cobertura vegetal, morfología, geología tipos de suelos y prácticas agrícolas, etc. Dichos parámetros pertenecientes a las características físicas nos mostraran todas las posibilidades de analizar el espacio físico de la cuenca y los elementos componentes del régimen hidrológico. (MTC, 2011).

Área de drenaje, Esta característica física es principalmente la descripción morfológica que tiene mayor importancia en la determinación, estudio y diseño de la cuenca. Se describe como la proyección horizontal del área de drenaje del sistema de drenaje, que se relaciona directa o indirectamente a un dren o cauce de la cuenca. (ANA, 2018).

Para trazar la divisoria topográfica o el área de la cuenca se tienen en cuenta, lo siguiente:

- La línea divisoria secciona ortogonalmente a las curvas de nivel.

- Cuando la divisoria se va trazando desde un nivel altitudinal mayor a un nivel altitudinal menor, esta línea secciona a las curvas de nivel por su concavidad.
- Al seccionar el terreno por el plano normal a la divisoria, el punto de intersección de ésta corresponde al de mayor altitud del terreno.
- La línea divisoria nunca secciona a un curso de agua natural, excepto en el punto de control o desembocadura.

Perímetro de cuenca, Característica física que describe la longitud de la cuenca en todo su borde (Divortium Aquarium), este parámetro se interrelaciona directamente con el área, para la determinación, estudio y diseño de la cuenca. (ANA, 2018).

Índice de Gravelius, Se le conoce también como Coeficiente de Compacidad, esa relación del perímetro de la cuenca y la longitud de circunferencia de un círculo de igual área. (ANA, 2018).

$$K_c = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} \quad (15)$$

Dónde:

A : Área

P : Perímetro

Y se debe de cumplir que: $1 < K_c <$

Con el empleo de este coeficiente y si los resultados son iguales o menores a la unidad, nos describe que la cuenca tendrá una forma circular y por ende esta será más cercana a las respuestas rápidas y si el coeficiente de compacidad es mayor que uno, nos describe que la cuenca tendrá una forma irregular o alargada y por ende esta será más cercana a una respuesta más lenta.

Tiempo de concentración, Se le conoce también como tiempo de respuesta o de equilibrio, en adelante Tc, y es el tiempo en que un agota de agua cae al punto más alejado de la cuenca y se transporta a través de la cuenca hasta llegar a punto de desfogue o salida de la cuenca (punto de interés). (Vásquez et al, 2018)

Para determinar el Tiempo de Concentración se pueden hacer uso de diferentes metodológicas propuestas y que están descritas a continuación. (MTC, 2011, pág. 25)

Tabla 5: Fórmulas para la determinación del tiempo de concentración

Método y Fecha	Fórmula para t_c
Kirpich (1940)	$t_c = 0.066 \left(\frac{L}{S} \right)^{0.77}$ <p>t_c= tiempo de concentración (horas) L= Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m S= Pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>
Ventura Heras	$t_c = a \frac{S^{0.5}}{i}$ $a = \frac{L}{S}$ <p>t_c= tiempo de concentración (horas) i= pendiente media del cauce principal (%) S= área de la cuenca (km²) L= longitud del cauce principal (km) a= alejamiento medio</p>
Hathaway	$t_c = \frac{0.06628L^{0.77}}{S^{0.385}}$ <p>t_c= tiempo de concentración (horas) L= Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m S= Pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>

Fuente: Adaptado de MTC, 2011, pág. 32

Pendiente de la corriente principal, conocida también como pendiente del cauce o de la corriente principal, es otro factor muy importante, porque está relacionada directamente con la velocidad del flujo, la cual nos ayuda a determinar en la toma de decisiones, la respuesta de la cuenca en función al tiempo. (Breña, 2006)

La corriente principal, puede ser determinada haciendo uso de la pendiente uniforme, que se basas en la relación que existe en la diferencia de cotas H (mayores y menores) y la distancia entre dos tramos L (proyección horizontal), es decir:

$$S = \frac{H}{L} \tag{16}$$

Donde:

S : Pendiente.

H : Diferencia de cotas entre los extremos del cauce principal

L : Longitud del cauce principal

Longitud del cauce principal, Se define como la longitud máxima que va desde el punto más lejano de la cuenca, por lo general es el punto más alto hasta llegar al punto de salida o descarga. (Breña, 2006)

Ancho de la cuenca, Es la medida de la longitud perpendicular de la cuenca en su eje mayor. (Breña, 2006)

Las **precipitaciones**; Se definen a partir de que los vientos arrastran las nubes, en ocasiones, estas son trasladados a los continentes o permanecen sobre los océanos. A través de estos movimientos las nubes pueden enfriarse, a través de las cuales las gotitas que son parte de las nubes llegan a agrandarse, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, consecuentemente provocando las precipitaciones. (Fatorelli, 2018, cap 2.1)

Las **obras civiles**; Se refiere para la mayoría de los estudios y casos, al estudio y desarrollo de infraestructuras tipo civiles para las poblaciones, estas estas direccionadas a mejorar la organización del territorio en donde se desarrollará la obra, al mismo tiempo al aprovechamiento de éste. Cuando hablamos de diseño nos referimos a la planificación, a la investigación, al estudio y a la información adicional que lleve el proyecto. (Reinar, 2020)

Que para nuestro caso será la relación y desarrollo de obras hidráulicas, que se enmarcan en la prevención del riesgo, caso caudales máximos.

El **coeficiente de rugosidad de Manning** (n); por lo general se requiere de la experiencia del especialista en hidrología para poder realizar la estimación de este valor “n” adimensional, el especialista puede hacer uso de tablas, publicaciones técnicas, se dan a conocer recomendaciones prácticas para la determinación del coeficiente de rugosidad para drenes o cauces naturales, en la tabla 6 se pueden apreciar estos valores:

Tabla 6: Valores de coeficiente de rugosidad Manning (*n*)

	Tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo		
D. Corrientes Naturales	a. Ríos en planicies					
	rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033		
	rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040		
	D.1. Corrientes menores (Ancho superficie < 30 m)	Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050	
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060	
		Abundante vegetación, sinuoso	0.075	0.100	0.150	
	D. Corrientes Naturales	b. Torrentes de montaña, sin vegetación, borde abruptos				
		Árboles y arbustos sumergidos				
		Parcialmente en crecidas con piedras y	0.030	0.040	0.050	
		Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo	0.040	0.050	0.070	
		a. Con pastos sin arbustos				
		pastizales bajos	0.025	0.030	0.035	
	pastizales altos	0.030	0.035	0.050		
	D. Corrientes Naturales	b. áreas cultivadas				
		sin cultivo	0.020	0.030	0.040	
		con cultivo	0.030	0.040	0.050	
		D.2. Planicies de inundación	c. Arbustos y malezas			
			escasos	0.040	0.060	0.080
			densos	0.070	0.100	0.160
	D. Corrientes Naturales	d. Arboles				
sauces		0.110	0.150	0.200		
D. Corrientes Naturales	tierra dejada con troncos	0.030	0.040	0.050		
D.3. Ríos principales (Ancho superior a 30 m)	Secciones rectangulares	0.025		0.060		
	Secciones irregulares	0.035		0.100		

Fuente: Adaptado de MTC, 2011, pág. 66

El Diseño de obras hidráulicas de defensa; Son estructuras civiles que son diseñadas y posteriormente construidas para proteger las áreas de interés aledañas a los ríos, por lo general se construyen contra los procesos de erosión y socavación de sus márgenes que es resultado de la excesiva velocidad del agua, debido principalmente a la abundancia de precipitaciones que se muestran por lo general en la época de lluvias, Estas obras se diseñaran para los tramos localizados y en especial para proteger poblaciones, vías de comunicación, campos de agricultura y demás de importancia. (Alvarado, Henríquez, 2014, p. 43)

Para la determinación de tamos de riesgo a inundación se hace uso esencialmente del software HEC RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un software de modelización hidráulica unidimensional y que se encuentra compuesto por 04 tipos de análisis para los ríos:

- Modelamiento de flujo, para un régimen permanente
- Modelamiento de flujo, para un régimen no permanente
- Modelamiento del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad del agua

Ello nos permite simular corrientes (flujos) en drenes naturales o drenes artificiales y posteriormente poder estimar el nivel del agua (hidrometría), y cuyo objetivo fundamental es el de realizar la determinación de la inundabilidad y la determinación de los tramos inundables. (U.S. Army Corps of Engineers, 2021)

La **avenida de diseño**; es el caudal que el especialista escoge, mediante el uso de la modelación hidráulico y en base a su experiencia, para el dimensionamiento y diseño de una obra civil, para ello se hace uso de la determinación de caudales relacionados a conceptos riesgo, peligro, vulnerabilidad, costos de obras y muchos otros. (MTC, 2011, cap. 3.13)

III. MÉTODOLÓGIA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo, La presente investigación, es de tipo **aplicada**

Donde el Concytec (2018), a través de sus especialistas, describe: “Está dirigida a determinar a través del conocimiento científico, los medios (metodologías, protocolos y tecnologías) por los cuales se puede cubrir una necesidad reconocida y específica”. (p. 43); Además que ser parte de conocimientos aprobados y tienen por finalidad la solución de problemas prácticos.

Diseño, La presente investigación, presenta un diseño **no experimental**

Definido por los autores por los autores Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes describen: “Investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para su efecto sobre las otras variables” (p.151); En nuestro caso la variable independiente no fue manipulada para observar el efecto sobre la variable dependiente, está ya se encuentra asignada.

Nivel, La presente investigación, es de nivel **explicativo**

Definido por los autores Hernández, Fernández y Baptista (2014) quienes describen: “Están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.” (p.95); En nuestro caso se buscó explicar a través de las variables independientes el efecto sobre la variable dependiente y como está se vio reflejada en el espacio físico de estudio.

Enfoque, La presente investigación, tiene un enfoque **cuantitativo**

Definido por los autores Hernández, Fernández y Baptista (2014) quienes describen: “El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos.” (p.4); Usamos series numéricas mediante análisis probabilístico e hidrológico y la relación de las variables entre sí.

3.2. Variables y operacionalización

Variables, La presente investigación plantea las siguientes variables, que están en función al problema, objetivo e hipótesis; Se tienen:

- Variable independiente, Se presenta dos variables independientes, estas se determinaron y se definieron por:
 1. Métodos probabilísticos
 2. Métodos hidrometeorológicos
- Variable dependiente, se definió por:
 1. Caudales máximos

Operacionalización, En el capítulo de anexos se considerará la matriz de operacionalización de variables, la misma que incluye la definición conceptual, definición operacional, indicadores y escala de medición.

3.3. Población, Muestra y Muestreo

La Población, está definida por la **cuenca Urubamba Vilcanota**.

Esta cuenca está catalogada por el ANA y SENAMHI como zona XII, sirviendo de base de búsqueda o estudio general a nivel de todo el país, sin error a equivocaciones.

La Muestra, está constituida por la **cuenca Salcca**, perteneciente a las 11 cuencas del río Urubamba Vilcanota, esta se encuentra catalogada por el ANA y SENAMHI con unidad hidrográfica 499498, sirviendo de base de búsqueda o estudio general a nivel de todo el país, sin error a equivocaciones.

El Muestreo, es de tipo **no probabilístico**, intencional o de conveniencia, puesto que el investigador ha determinado anticipadamente la muestra y que se encuentra bajo la responsabilidad del investigador.

Unidad de análisis, está definida por el conjunto de **micro-cuencas** pertenecientes a la cuenca Salcca, de manera general se tienen: río Acco, río Urubamba, río Huancane, río Cullunuma, río Phinaya, río Urubamba Acco, río Huancane Urubamba, río Cullunuma Huancane y parte baja de la cuenca Salcca.

3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de investigación, en la presente investigación se hizo uso de la técnica de **observación** que consistió en comparar el fenómeno que se deseó comprender y posteriormente describirlo y el **análisis documental** de fuentes primarias y secundarias, en bases a la revisión, búsqueda y recopilación de información que sirvió de base y procedimiento para la presente investigación.

Instrumentos de recolección de datos, para la presente investigación se definieron en la generación de una **ficha de base de datos** desde la serie histórica de datos meteorológicos y el uso de softwares computacionales como Easyfit (metodologías probabilísticas), HEC HMS (Metodologías hidrometeorológicas) y HEC RAS (zonas inundables y tramos en riesgo).

Validez, la validez de la investigación, se vio reflejado en el juicio de tres expertos, calificados en bases a su experiencia para la realización de estudios hidrológicos e hidráulicos, los cuales determinaron la calidad, coherencia y la suficiencia de la información considerada en el estudio.

Confiabilidad, se realizó en base a la información proporcionada por SENAMHI (Precipitaciones máximas en 24 horas) y a la evaluación hidrológica de la cuenca del río Salcca, mediante las fotografías en el área de estudio, mediante la aplicación de los softwares Easyfit, HEC HMS, HEC RAS y ArcGis, así como también las cartas aceptadas por instituciones públicas relacionados al tema de investigación.

3.5. Procedimiento de aplicación

Los procedimientos de aplicación usados y que fueron empleados en la presente investigación son:

Se inició con la determinación de la cuenca de estudio (río Salcca) espacio físico de la presente investigación, seguido de la obtención de las informaciones hidrometeorológicas, referidas a la precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos; todas ellas fueron obtenidas del SENAMHI de las estaciones meteorológicas Sicuani, Salcca y Pomacanchi, la información fue entregada a petición, con fines de investigación mediante carta dirigida al SENAMHI zonal 12, oficina central en el distrito de Wanchaq, provincia y departamento de Cusco, y en

cumplimiento de los requisitos propios de la institución, que fueron suscritos por el investigador y el director de la zonal 12 SENAMHI, indicar que por la coyuntura actual (periodo COVID) todo tramite se realiza de manera virtual a través de correos electrónicos institucionales y personales; Para nuestro caso los procedimientos de aplicación se describen en función a los objetivos planteados, siendo estos:

- a. Determinación de caudales máximos haciendo uso de los métodos probabilísticos
- b. Determinación de caudales máximos haciendo uso de los métodos hidrometeorológicos
- c. Verificación de tramos de la cuenca del río Salcca que resulten e riesgo

Para el caso del objetivo específico 01 - metodologías probabilísticas, se procedió de la siguiente manera:

Con los datos obtenidos del SENAMHI - Estación Salcca, se procedió a generar una tabla en formato Excel (Base de datos) de los caudales máximos comprendidos entre los años 1996 a 2020, de un periodo de 25 años, que es un intervalo de análisis suficiente para el presente estudio, dichas serie histórica presenta ciertos datos faltantes que son necesarios de completar mediante la aplicación del software HEC 4, con ello se pudo obtener la serie histórica completa de caudales máximos de los años 1996 al 2020.

A continuación se procedió a obtener los parámetros geomorfológicos, mediante el empleo del software ArcGis versión 10.7, se procesó los Modelos digitales de elevación (DEM), fueron obtenidos de la página web de la NASA específicamente del satélite ALOS PALSAR, que son descargados previa suscripción en su portal web y entregados con fines de estudio, con ello se procede al uso de la caja de herramientas del ArcGis, generando el FILL, la dirección del flujo, la acumulación del flujo, las redes hídricas, punto de interés que en nuestro caso será la salida y centroide de la cuenca, con ello se obtuvo la delimitación de la cuenca de estudio y a partir estos datos se obtuvieron los distintos parámetros geomorfológicos como área, perímetro, pendiente, longitud de cauce principal, área de drenaje, etc. Luego se empleó la fórmula propuesta por Creager para la determinación de la serie histórica de caudales máximo en el desfogue de la cuenca, con ello se procedió a

realizar el análisis de frecuencias o distribuciones de probabilidad, empleándose los siguientes parámetros: Distribución Normal, Distribución Log Normal 3P, Distribución Log Pearson Tipo III, Distribución Gamma 3P y Distribución Valor Tipo I (Gumbel). Los caudales máximos en el desfogue de la cuenca (tramo final), fueron introducidos a un nuevo proyecto en el software de análisis de frecuencia Easyfit versión 5.6, en donde se seleccionaron los parámetros de distribución elegidos y con ello se realizaron los cálculos de metodologías probabilísticas y las pruebas de bondad de ajuste como son chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov. Con ello se obtuvieron los caudales máximos para diferentes “T” dentro de los cuales se tienen: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años, posteriormente se realizó un análisis de los resultados (validación); En la figura 6, se observa gráficamente y secuencialmente la aplicación del procedimiento de las metodologías probabilísticas.

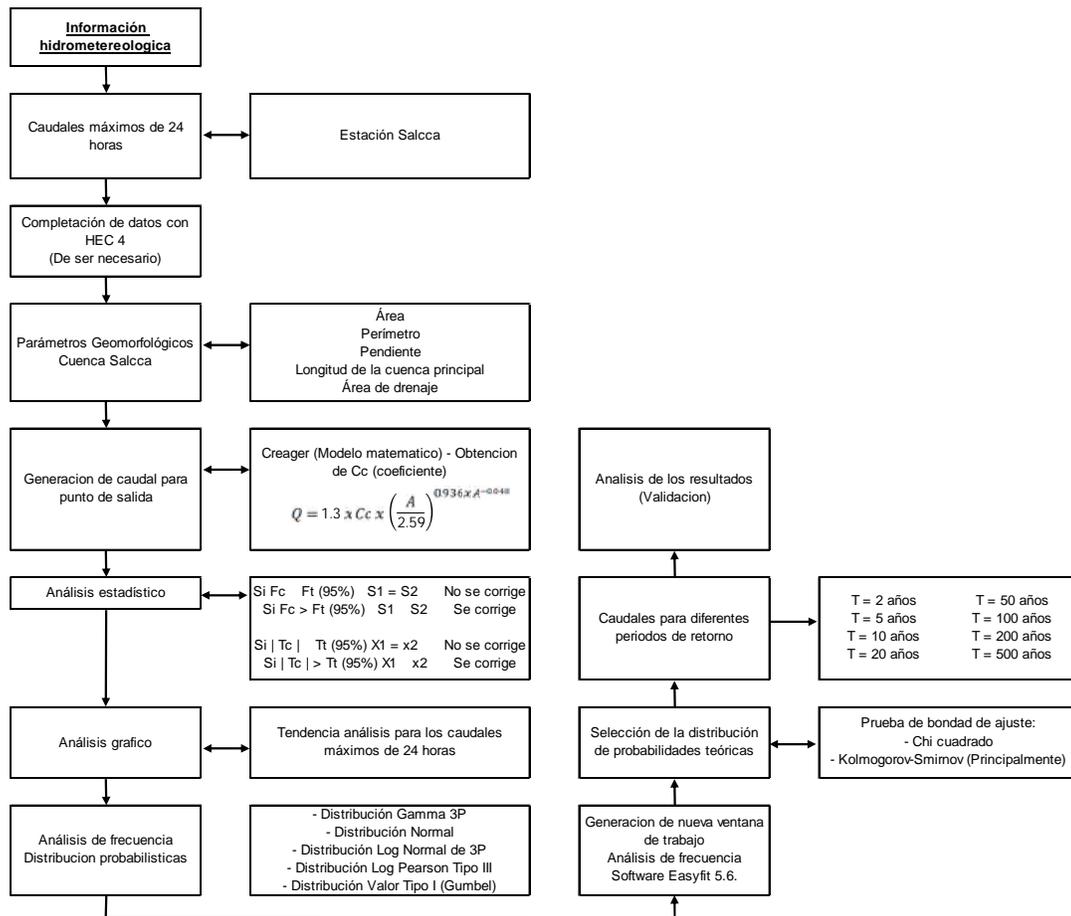


Figura 6: Metodología de aplicación para métodos probabilísticos
Aplicación secuencial necesario para determinar los caudales máximos
Elaboración propia, 2021

Para el caso del objetivo específico 02 - metodologías hidrometeorológicas, se procedió de la siguiente manera:

Con los datos obtenidos del SENAMHI – Estaciones de Sicuani, Salcca y Pomacanchi, se procedió a generar una tabla en formato Excel (Base de datos) de los precipitaciones máximas de 24 horas, que se encuentran entre los años 1996 a 2020, de un periodo de 25 años, que es un intervalo de análisis suficiente para el presente estudio, dichas serie histórica presenta ciertos datos faltantes de precipitación que son necesarios de completar mediante la aplicación del software HEC 4, con ello se pudo obtener la serie histórica completa de precipitaciones de los años 1996 al 2020.

Luego se realizó un análisis gráfico de la serie histórica para evidenciar las tendencias de precipitaciones y un análisis estadístico que consistió en verificar si los datos cumplen o no con ciertos criterios, posteriormente se realizó un análisis regional de precipitación o regionalización para la cuenca del rio Salcca, seguido del empleo de las precipitaciones máximas horarias mediante un análisis de frecuencia para la Distribución Gamma 3P, Distribución Normal, Distribución Log Normal 3P, Distribución Log Pearson Tipo III y Distribución Valor Tipo I (Gumbel), los valores se introdujeron al software Easyfit versión 5.6, para posteriormente realizar la selección de la distribución de probabilidades teóricas mediante pruebas de bondad de ajuste como son chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov.

De igual manera se obtuvieron los parámetros geomorfológicos como área, perímetro, pendiente, longitud de cauce principal, área de drenaje, todos propios de la cuenca del Salcca y los parámetros hidrográficos como son tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía, coeficiente de agotamiento y demás, todos propios de la cuenca del Salcca. Posteriormente se determinó la curva IDF (intensidad, duración y frecuencia) y los hietogramas de precipitación o tormenta de diseño para $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años.

Con ello se realiza la generación de un modelo en el software HEC HMS, en donde los parámetros que fueron obtenidos para la cuenca Salcca son importados del software ArcGis para realizar la creación de los diferentes componentes de diseño, principalmente para los hietogramas unitarios de Clark, Snyder y SCS, realizado

ello se procede a la simulación del modelo creado en HEC HMS. En base a la aplicación de este método, se obtuvieron los caudales máximos para diferentes $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años, posteriormente se realizó un análisis de los resultados (Validación); En la figura 7, se observa gráficamente y secuencialmente la aplicación del procedimiento de las metodologías hidrometeorológicas.

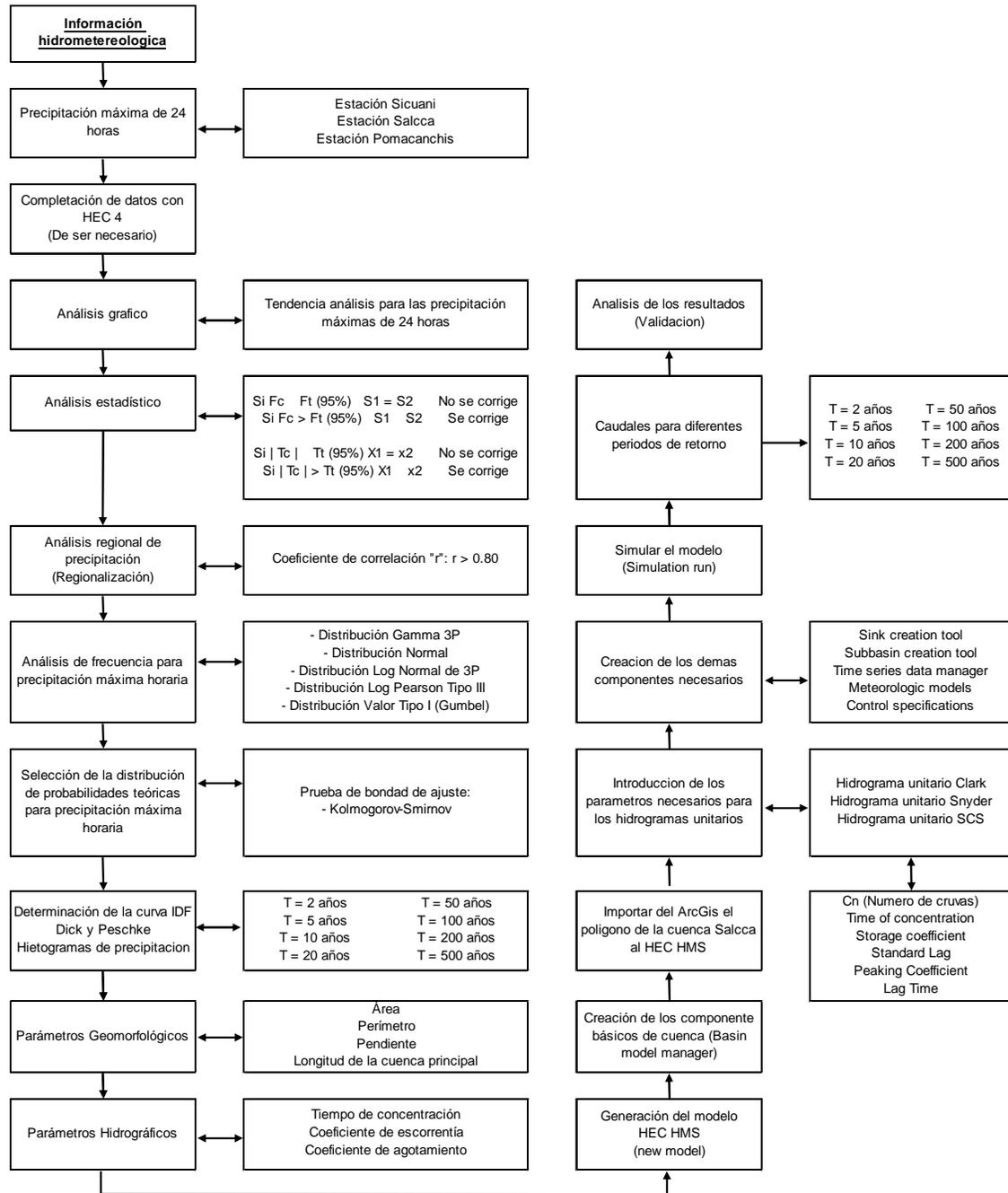


Figura 7: Metodología de aplicación para métodos hidrometeorológicos
Aplicación secuencial necesario para determinar los caudales máximos
 Elaboración propia, 2021

Para el caso del objetivo específico 03 – propuesta de medidas estructurales, se procedió de la siguiente manera:

Al igual que los métodos probabilísticos e hidrometeorológicos, se obtuvo la cuenca hidrográfica de estudio y los parámetros geomorfológicos propios de la cuenca Salcca, todos ellos generados en el ArcGis, a partir de ello, estos valores son exportados al HEC RAS para la creación de un nuevo modelo, con lo cual se realizó la división de la cuenca hidrográfica por tramos y la determinación de la dirección de flujo (agua), posteriormente se realizó la determinación de la línea perteneciente a las fajas marginales, propias para la cuenca del río Salcca y la determinación del coeficiente de rugosidad "n" o coeficiente Manning, que resultaron en la generación del perfil y tirante del río Salcca, y que posteriormente realizamos la simulación de inundación del modelo propuesto con ello se podrá realizar la verificación de los tramos que resulten en riesgo y proponer medidas estructurales propias para el río Salcca. En la figura 8, se pueden observar gráficamente y secuencialmente la aplicación del procedimiento para los tramos de la cuenca del río Salcca que resulten en riesgo.

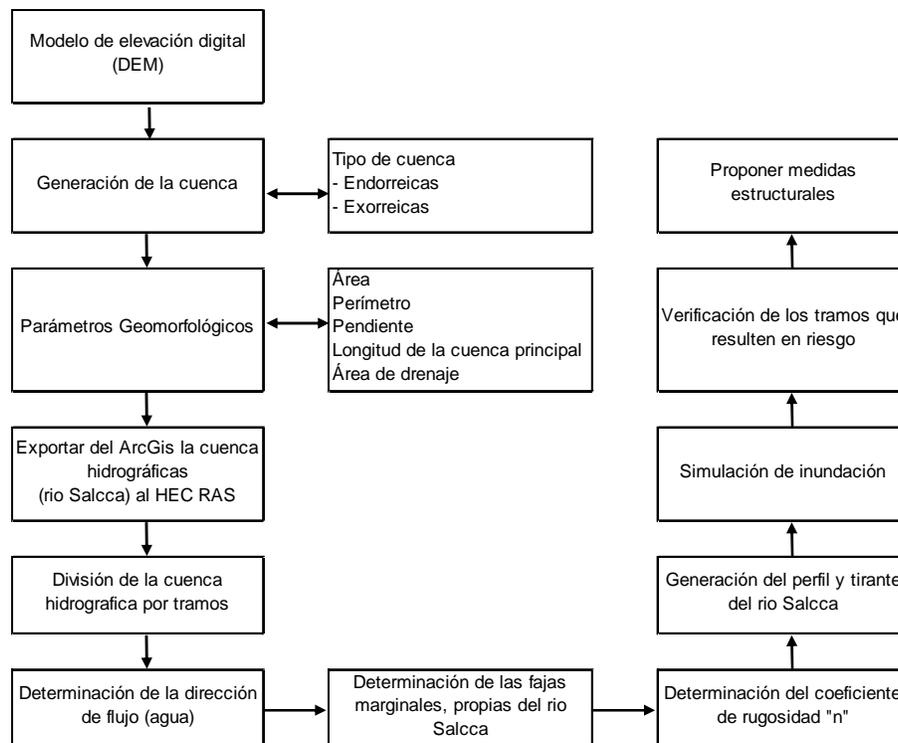


Figura 8: Metodología de aplicación para determinación de tramos en riesgo
Aplicación mediante el uso del software HEC RAS
Elaboración propia, 2021

A continuación, se presentan los **datos empleados** y **estudios previos** necesarios para la presente investigación y para el cumplimiento de los resultados:

Los estudios hidrológicos se basan primordialmente en series históricas de caudales (hidrometría) y en series históricas de precipitaciones máximas en 24 horas, en la presente investigación se hicieron uso de estaciones meteorológicas cuyo responsable principal es el SENAMHI, se tienen dos estaciones meteorológicas automáticas y una estación hidrológica automática, en la tabla 7, se pueden observar las características de las estaciones empleadas:

Tabla 7: Estaciones meteorológicas empleadas

Estación	Sicuni	Salcca	Pomacanchi
Provincia	Canchis	Canchis	Acomayo
Distrito	Sicuni	San Pablo	Pomacanchi
Código	4726158C	114118	114046
Tipo	Automática Meteorológica	Automática Hidrológica	Automática Meteorológica
Latitud	14°14'14.5"	14°10'11.68"	14°01'40.1"
Longitud	71°14'12.1"	71°13'54.84"	71°34'21.3"
Altitud	3534 msnm	3913 msnm	3690 msnm

Fuente: Elaboración propia, 2021. En base al web site SENAMHI

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Mediante carta N°410-2021/EP-ING-CIV-UCV de la Universidad Cesar Vallejo dirigida a la Zonal 12 SENAMHI Cusco, se obtuvieron series históricas de precipitación y caudales, correspondientes a 25 años, en la tabla 8, se pueden observar el resumen de datos hidrometeorológicos:

Tabla 8: Resumen de datos, estaciones meteorológicas empleadas

Descripción	Precipitación máxima 24h (mm)			Descripción	Caudal Máximo (m³/s) Salcca
	Sicuni	Salcca	Pomacanchi		
N° Datos	25	25	25	N° Datos	25
Periodo (años)	1996-2020	1996-2020	1996-2020	Periodo (años)	1996-2020
Media	31.96	34.87	33.88	Media	82.38
Desviación Estándar	5.47	6.38	5.30	Desviación Estándar	9.64
Precipitación máxima	44.40	45.10	45.10	Caudal Máximo	107.38
Precipitación mínima	20.00	25.20	26.30	Caudal Mínimo	67.82

Fuente: SENAMHI, Zonal 12 Cusco
Elaboración propia, 2021

Parte de los estudios hidrológicos de la cuenca Salcca, se relacionan con sus parámetros geomorfológicos e hidrográficos, en la tabla 9, se observan los datos obtenidos, mediante el uso del software ArcGis y la aplicación de fórmulas descritas en el marco teórico, estos parámetros son propios de cuenca del Salcca, principalmente se tiene un área hidrográfica de 2,331.70 Km².

Tabla 9: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Salcca

Parámetros	Variable	Unidad	Cuenca Salcca	
1.- Parámetros Geomorfológicos				
Superficie total	A _T	Km ²	2331.70	
Superficie total de drenaje	A _D	Km ²	2215.12	
Perímetro total	P	Km	321.81	
Centro de gravedad	Latitud	L _S	g° m' s'' 14° 16' 49''	
	Longitud	L _W	g° m' s'' 71° 43' 29''	
Altitud media	msnm	msnm	4728.00	
Desnivel total	D _T	Km	0.672	
Pendiente de los terrenos	I _P	%	10.80	
Pendiente media del curso principal	I _C	%	1.50	
Longitud del cauce principal	L _{CP}	Km	111.23	
Longitud del cauce principal al centro de gravedad	L _{CG}	Km	37.08	
2.- Parámetros Hidrográficos				
Relaciones de forma de drenaje	Índice de Compacidad de Gravelius	K _C	1.87	
	Factor de cuenca	Longitud de Cuenca	L _B	Km 111.23
		Área de Cuenca	A _T	Km 2331.70
	Índice de Horton		r _I	0.19
	Longitud total de los ríos (diferentes grados)	L _t	Km	389.30
	Densidad de drenaje	D _D	Km/Km ²	0.18
	Orden de bifurcación de los ríos	O _{BIF}		2.00
	Frecuencia de los ríos	F _R	r/Km ²	
Tiempo de concentración	Kirpich	T _C	Hr 12.58	
	Ventura Heras	T _C	Hr 8.82	
	Hathaway	T _C	Hr 5.75	
	Promedio		9.05	
	Elegido	T _C	Hr 12.58	

Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, en la tabla 10, se observa los caudales máximos para la cuenca Salcca, que son los caudales de desfogue en el tramo de salida de la cuenca, se tiene:

Tabla 10: Caudales de 24 horas para la cuenca del río Salcca

N° Registro	Año	Caudal Máximo (m ³ /s)	N° Registro	Año	Caudal Máximo (m ³ /s)
1	1996	82.28	13	2008	80.08
2	1997	92.91	14	2009	91.31
3	1998	96.76	15	2010	80.33
4	1999	113.81	16	2011	89.66
5	2000	80.66	17	2012	99.70
6	2001	82.97	18	2013	106.96
7	2002	74.04	19	2014	82.37
8	2003	78.12	20	2015	83.97
9	2004	81.13	21	2016	71.88
10	2005	89.22	22	2017	80.87
11	2006	89.93	23	2018	102.34
12	2007	81.25	24	2019	80.79
			25	2020	89.60

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla 11, se observa el análisis estadístico o de consistencia de los caudales máximos de la estación Salcca, donde se verifico la consistencia de datos respecto a la media y a la desviación estándar y cuyos datos cumplen los criterios de operación, por lo cual estadísticamente son recomendables su uso.

Tabla 11: Cuadro de análisis de estadístico de caudales máximos

Análisis de saltos	Operación	Estación Salcca
		Caudales Máximos
Consistencia en la media	T calculado (Tc)	0.04
	T tabular (Tt)	2.06
		Cumple
	Cumple que: Si $ Tc - Tt \leq Tt (95\%) \times X1 = x2$ No se corrige Si $ Tc - Tt > Tt (95\%) \times X1 = x2$ Se corrige	
Consistencia en la desviación estándar	F calculado (Fc)	0.95
	F tabular (Ft)	2.49
		Cumple
	Cumple que: Si $Fc \leq Ft (95\%) \times S1 = S2$ No se corrige Si $Fc > Ft (95\%) \times S1 = S2$ Se corrige	

Fuente: Elaboración propia, 2021

De los caudales máximos descritos en la tabla 10, a continuación, se muestra un análisis gráfico, que verifica visualmente toda la serie o información histórica, realizado en base a un histograma planteado en coordenadas de tiempo y precipitación, en las figuras 9, se observa que los caudales presentan consistencia gráfica, siendo estos aceptados, se tiene:

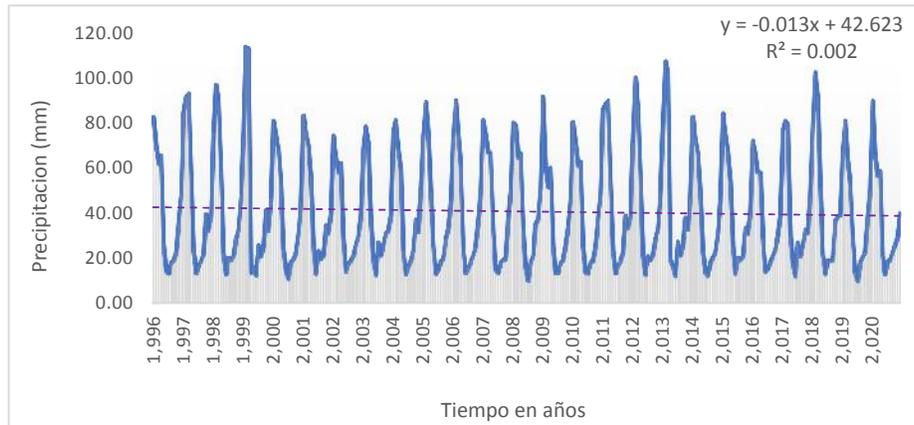


Figura 9: Análisis gráfico, caudales estación Salcca
Elaboración propia, 2021

En la figura 10, se presenta un diagrama de cajas y bigotes, que grafica idealmente los rangos de los caudales máximos, nos muestra los siguientes valores de caudales: Media de 87.32 m³/s, Mediana de 82.97 m³/s, Mínimo de 71.88 m³/s, Máximo de 113.81 m³/s (Off layer, considerado como único valor fuera del rango) y los demás valores de los cuartiles correspondientes. Del gráfico, podemos indicar que presenta consistencia gráfica y que el valor Off layer será usado por tratarse de un estudio de valores máximos.



Figura 10: Diagrama de cajas y bigotes, caudales estación Salcca
Elaboración propia, 2021

En la tabla 12, se muestra un análisis estadístico o de consistencia de las precipitaciones de 24 horas de las estaciones de Sicuani, Salcca y Pomacanchi, donde se verifico la consistencia de datos respecto a la media y a la desviación estándar y cuyos datos cumplen los criterios de operación, por lo cual estadísticamente son recomendables su uso.

Tabla 12: Cuadro de análisis de consistencia, precipitaciones máximas 24h

Análisis de saltos	Operación	Estaciones		
		Precipitación máxima 24h		
		Sicuani	Salcca	Pomacanchi
Consistencia en la media	T calculado (Tc)	0.738	1.365	0.840
	T tabular (Tt)	2.056	2.056	2.056
		Cumple	Cumple	Cumple
	Cumple que: Si $ Tc - Tt \leq Tt$ (95%) $X1 = x2$ No se corrige Si $ Tc - Tt > Tt$ (95%) $X1 = x2$ Se corrige			
Consistencia en la desviación estándar	F calculado (Fc)	1.244	0.974	1.027
	F tabular (Ft)	2.490	2.490	2.490
		Cumple	Cumple	Cumple
	Cumple que: Si $Fc \leq Ft$ (95%) $S1 = S2$ No se corrige Si $Fc > Ft$ (95%) $S1 = S2$ Se corrige			

Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, se muestra un análisis gráfico, que se realizó a las 03 estaciones meteorológicas, para el caso de las precipitaciones máximas de 24 horas, en las figuras 11, 12 y 13 observamos que las precipitaciones presentan consistencia gráfica, siendo estas aceptados en su serie histórica de precipitación, se tienen:

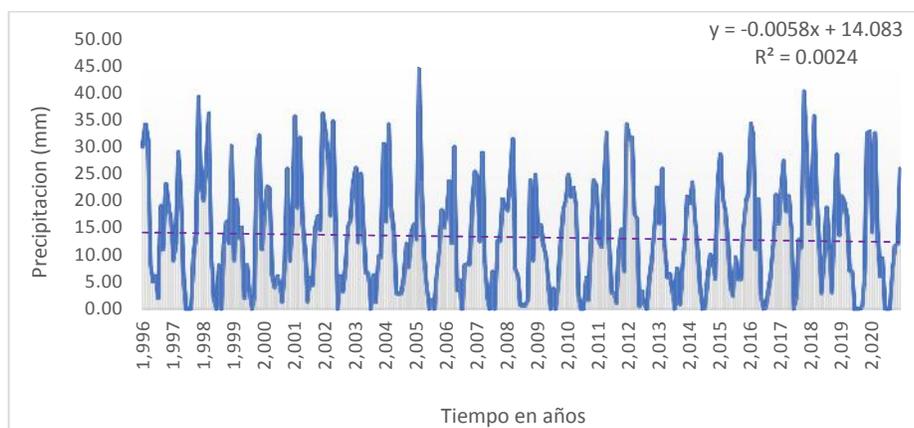


Figura 11: Análisis gráfico, precipitación estación Sicuani
Elaboración propia, 2021

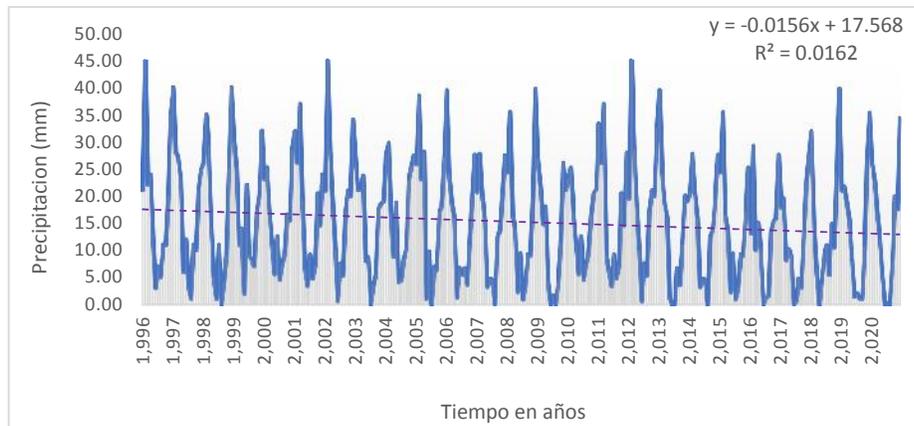


Figura 12: Análisis gráfico, precipitación estación Salcca
Elaboración propia, 2021

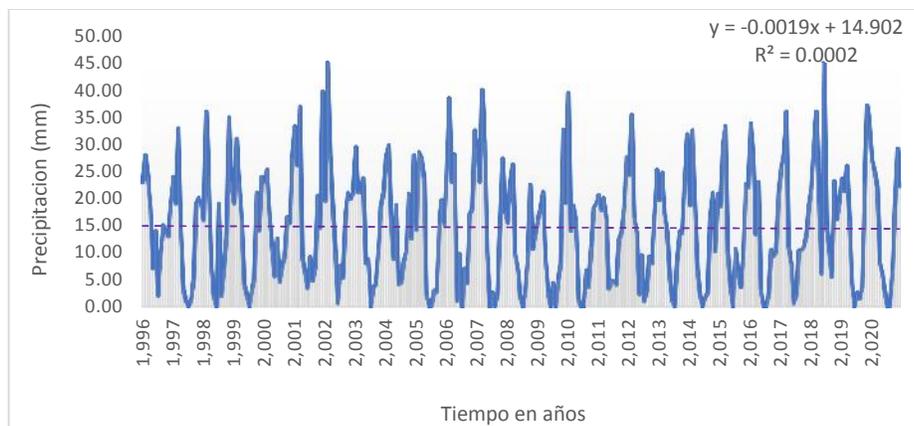


Figura 13: Análisis gráfico, precipitación estación Pomacanchi
Elaboración propia, 2021

Posteriormente se procedió con la regionalización de los datos para la precipitación de la cuenca Salcca; El método empleado en el presente trabajo establece el registro de los datos (X_i, Y_i) , para ello calculamos el coeficiente de correlación (r) , el cual debe estar definido en el rango de $-1 < r < 1$, esa resultara en una correlación total, y caso contrario si el valor (r) adopta el valor de cero se considera que la correlación es nula. En la tabla 13, se observa el procedimiento de regionalización, basado en el empleo de los datos de precipitación media y los datos de altitud de las estaciones meteorológicas en estudio, con ello se obtiene una ecuación de regresión y posterior la precipitación de 24 horas media, realizando los demás procedimientos, se obtuvo el coeficiente de correlación (r) , que resulto de 0.96, dicho valor se encuentra en un rango de correlación total aceptable.

Tabla 13: Análisis regional de precipitación, ecuación de regresión precipitación-Altitud

Estación	Altitud media	Precipitación media diaria	Ecuación de regresión				Precipitación media de 24 horas
	msnm	mm	X ²	Y ²	X*Y ²	Y ⁴	mm
Sicuani	3,534.00	31.96	1.25E+07	1.02E+03	3.61E+06	1.04E+06	32.24
Pomacanchi	3,690.00	33.88	1.36E+07	1.15E+03	4.24E+06	1.32E+06	33.43
Salcca	3,913.00	34.87	1.53E+07	1.22E+03	4.76E+06	1.48E+06	35.05
Suma	11,137.00	100.72	4.14E+07	3.39E+03	1.26E+07	3.84E+06	100.72
N° datos, n	3	3	3	3	3	3	3
Promedio	3,712.33	33.57	1.38E+07	1.13E+03	4.20E+06	1.28E+06	33.57
Fórmulas para el cálculo de parámetros de regresión			Valores de parámetros de regresión				
A= SUM X	1.11E+04	G = C-(A ²)/n	7.26E+04	Coeficiente independiente		Bo =	-722.49
B= SUM Y	1.01E+02	H = F-A*D/n	3.62E+04	Coeficiente dependiente		B1 =	0.50
C= SUM X ²	4.14E+07	I = F-(D ²)/n	1.94E+04	Coeficiente de regresión		r =	0.96
D= SUM Y ²	3.39E+03	J = H/G	4.99E-01				
E= SUM X*Y ²	1.26E+07	K = (D-J*A)/n	-7.22E+02				
F= SUM Y ⁴	3.84E+06						
Fórmulas de parámetros de regresión							
Coeficiente independiente	Bo= (D-J*A)/n						
Coeficiente dependiente	B1= H/G						
Coeficiente de regresión	r = H/SQRT(G*I)						
Desviación estándar	S = (D-A ² /n)-(K*(A*D-A*B)/n)						

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la figura 14, se verifica una gráfica lineal, que describe perfectamente el comportamiento de las tres estaciones empleadas, se observa que las estaciones se encuentran cerca de la línea obtenida bajo regresión lineal, se tiene:

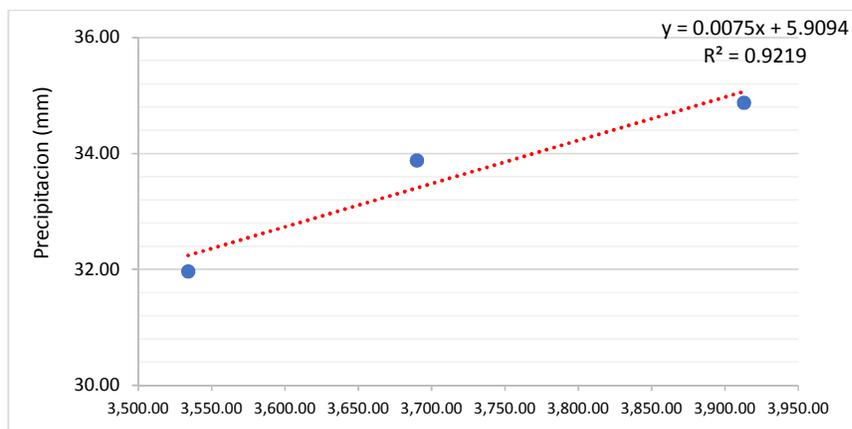


Figura 14: Gráfica del Análisis regional de precipitación
Elaboración propia, 2021

Posterior a la obtención de la regionalización de datos, se procedió a determinar la precipitación máxima de 24 horas para la cuenca Salcca, esta precipitación es propia y de uso exclusivo para la cuenca del rio Salcca, se tiene:

Tabla 14: Registro de precipitación para la cuenca Salcca

N° Registro	Año	Total Max	N° Registro	Año	Total Max
1	1996	34.15	13	2008	25.95
2	1997	30.21	14	2009	26.74
3	1998	33.05	15	2010	30.78
4	1999	26.16	16	2011	29.56
5	2000	24.37	17	2012	36.77
6	2001	35.36	18	2013	25.16
7	2002	39.94	19	2014	28.53
8	2003	27.49	20	2015	28.54
9	2004	31.01	21	2016	29.79
10	2005	35.72	22	2017	25.58
11	2006	30.26	23	2018	28.01
12	2007	31.48	24	2019	33.64
			25	2020	26.50

Fuente: Elaboración propia, 2021

Posteriormente se realizó un análisis de frecuencia para precipitación máxima horaria, con los parámetros de distribución mencionados en el procedimiento de aplicación, dicho análisis se realizó en el software Easyfit, en las figuras 15, 16 y 17 se muestra el análisis y se verifica que las distribuciones Log normal 3P y Log Pearson Tipo III, son quienes presentan un mejor ajuste, a través de la prueba de Kolmogorov Smirnov, se tienen:

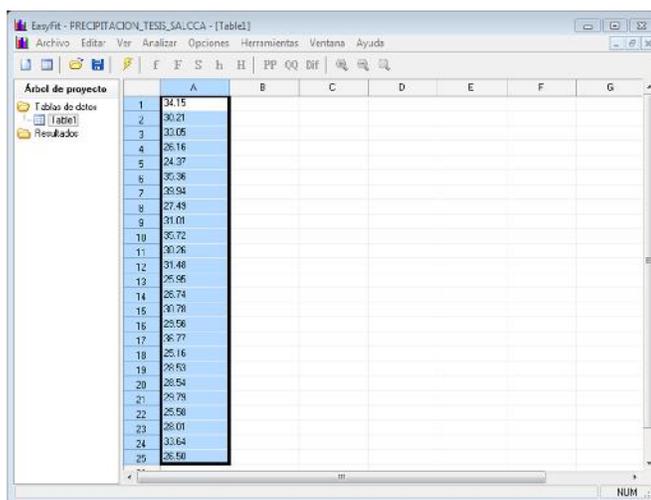


Figura 15: Análisis de frecuencia, serie histórica precipitación Easyfit
Elaboración propia, 2021

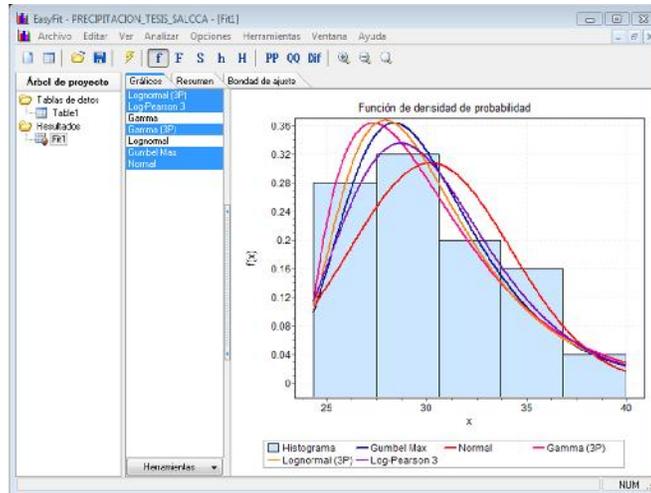


Figura 16: Análisis de frecuencia, precipitación Easyfit
Elaboración propia, 2021

The screenshot shows the 'Resumen' (Summary) tab of the goodness of fit test results in Easyfit. The table below summarizes the results for seven different distributions.

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
6	Lognormal (3P)	0.08179	1	0.18115	3	0.79651	5
4	Log-Pearson 3	0.08311	2	0.16873	2	0.46509	2
1	Gamma	0.08464	3	0.26448	6	0.39522	1
2	Gamma (3P)	0.08969	4	0.16284	1	1.214	7
5	Lognormal	0.09135	5	0.26209	5	0.48721	3
3	Gumbel Max	0.09311	5	0.20375	4	0.67133	4
7	Normal	0.09964	7	0.3646	7	1.0409	6

Figura 17: Prueba de bondad, precipitación Easyfit
Elaboración propia, 2021

Complementario a la información obtenida, se hace necesaria la determinación de la curva IDF (Intensidad, duración y frecuencia), que representa la relación matemática, de tipo empírica, que existe entre la intensidad de la precipitación, la duración y la frecuencia, que corresponden a un mismo periodo de retorno en estudio; Continuo a la curva IDF se grafican los diferentes hietogramas de precipitación o tormentas de diseño para los diferentes periodos de retorno, en las figuras 18 y 19 podemos observas los hietogramas resultantes para los T que se están estudiando en la presente investigación, dichos hietogramas son la base fundamental de diseño de los modelos hidrológicos que se planteó usar en la presente investigación:

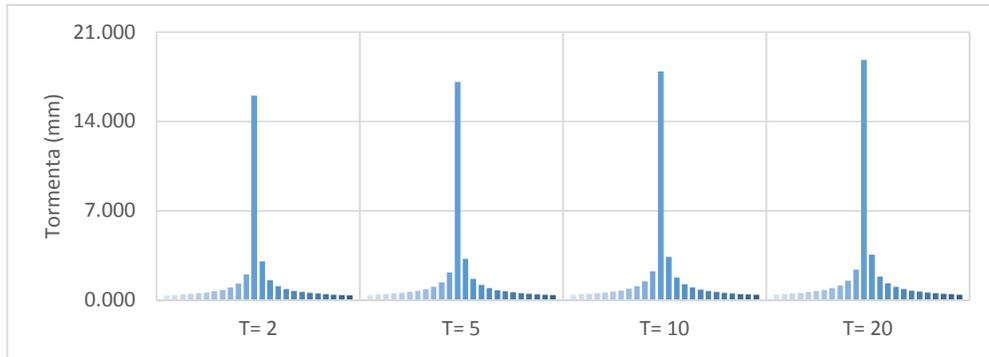


Figura 18: *Hietogramas de precipitación de T = 2, 5, 10 y 20 años*
Elaboración propia, 2021

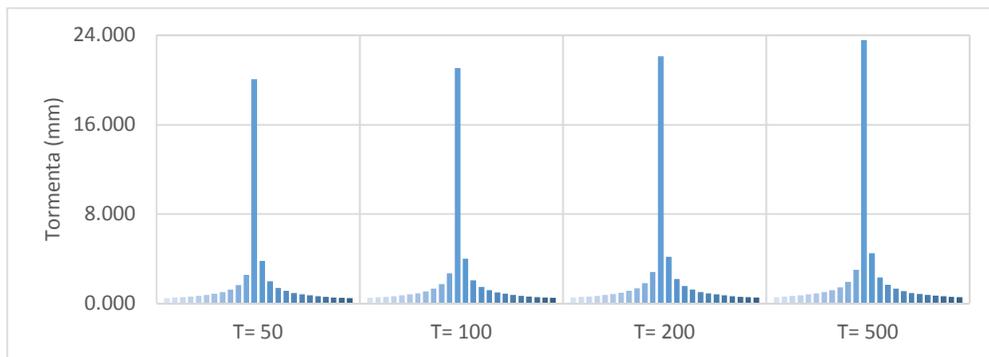


Figura 19: *Hietogramas de precipitación de T = 50, 100, 200 y 500 años*
Elaboración propia, 2021

Para el empleo de los hidrogramas unitarios se ahce fundamental el empleo del número de curvas o CN, y empleados en el procedimiento del HEC HMS, dichos cálculo se obtienen de las características y valores descritos en la tabla 3 y tabla 4, con ello realizamos el cálculo seccionando las áreas de la cuenca, se tiene:

Tabla 15: *Registro de precipitación para la cuenca Salcca*

Descripción	CN	Área (Km ²)
Bosques	73	330.00
Praderas o pastizales	75	1200.00
Granos pequeños	78	201.70
Praderas (permanente)	61	600.00
CN Ponderado	71	2331.70

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.6. Método de análisis de datos

En la presente investigación, las variables independientes son descritas por su comportamiento; modelos probabilísticos y modelos hidrometereologicos, mediante

el análisis documental y el uso de la base de datos que fueron procesadas mediante la aplicación de metodológicas descritas en bibliografías, determinando los caudales máximos, para $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años.

Para la obtención de los resultados se hizo uso de herramientas informáticas (programas o softwares), que por lo general facilitan lo laborioso de este tipo de estudios, en nuestro caso particular se hizo uso de: Microsoft Excel, Microsoft Word, SAS Planet, Global Mapper, Hcanales, AutoCad Civil 3D, ArcGis versión 10.7, Easyfit versión 5.6, HEC HMS versión 4.6, HEC RAS versión 5.0.6 y demás herramientas necesarias, todos ellos fueron usados de manera secuencial precedentes uno de otro, fue también necesario criterios en modelamiento hidrológico que parten de las bases teóricas, fundamentos de los antecedentes obtenidos, criterios de experiencias de profesionales que revisaron los cálculos obtenidos; Además de una revisión por parte de especialistas en la rama de la hidrología.

3.8. Aspectos éticos

Los lineamientos de la presente investigación fueron de una investigación científica por lo que se han citado todas las fuentes consultadas, considerando libros, tesis, revistas, manuales y páginas web o todos aquellos que sirvieron para lo fines del trabajo de investigación, en general estos fueron usados para fundamentar la introducción, antecedentes a nivel internacional y nacional, marco teórico, metodología empleada y procedimientos de uso de softwares.

Toda la información y resultados que se llegaron a obtener serán confiables, ya que se obtuvieron de instituciones responsables y fueron abaladas por profesionales expertos en el tema de investigación.

IV. RESULTADOS

En este capítulo y en adelante, referentes a la investigación se exponen los resultados realizados; Resultados que fueron recopilados mediante el uso de técnicas e instrumentos empleados para la investigación y que posteriormente fueron utilizados mediante los procedimientos de aplicación descritos anteriormente, estas se observan a través de las descripciones de cuadros y figuras, los cuales son presentados en orden secuencial y en función a los objetivos específicos planteados.

Memoria Descriptiva

a. Nombre de la investigación de tesis:

La presente investigación se titula:

Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021.

b. Ubicación:

A continuación, se tiene:

Ubicación política

País : Perú
Región : Cusco
Provincia : Canchis
Distritos : Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe y Marangani

Ubicación geográfica

Datum Horizontal Utilizado : WGS 84
Zona : UTM - 19 S
Coordenadas (Centroide) : Este 279,093.7275
Norte 8'444,822.4049

Coordenadas (Punto salida) : Este 236,518.5449
Norte 8´440,196.0166

Altitud máxima : 6,069 m.s.n.m.

Altitud mínima : 3,494 m.s.n.m.

Altitud media : 4,782 m.s.n.m.

Ubicación hidrografica

Vertiente : Atlántico

Cuenca nivel 2 : (49) Amazonas

Cuenca nivel 3 : (499) Cuenca hidrografica del rio Ucayali

Cuenca nivel 4 : (4994) Urubamba – Vilcanota

Cuenca nivel 5 : (49949) Vilcanota

Cuenca nivel 6 : (499498) Sallca

Ámbito administrativo nacional : AAA – XII Urubamba Vilcanota

Ámbito administrativo local : ALA – Sicuani (Alto Vilcanota)

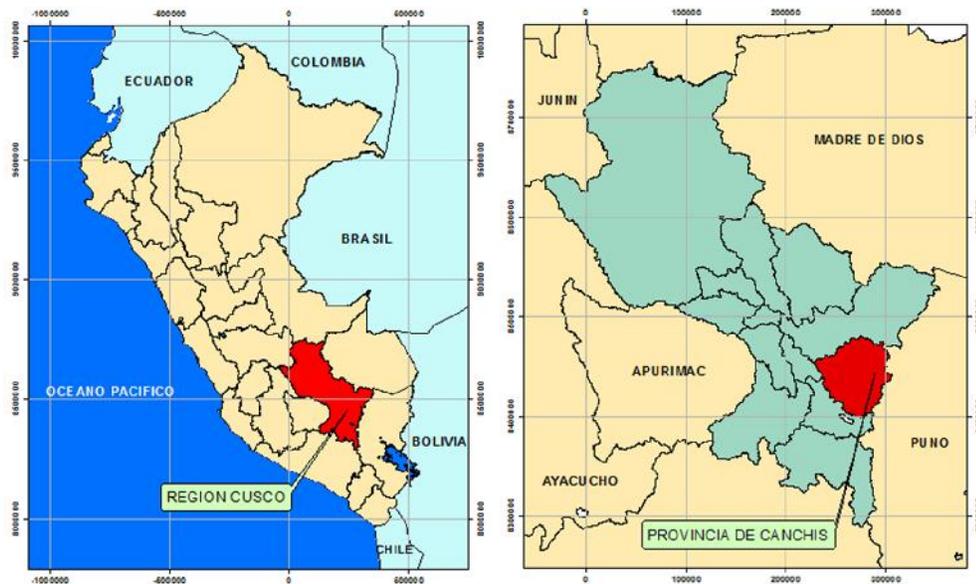


Figura 20: Mapa de ubicación a nivel regional y provincial
Basado en información del IGP, web site oficial y elaboración propia, 2021.

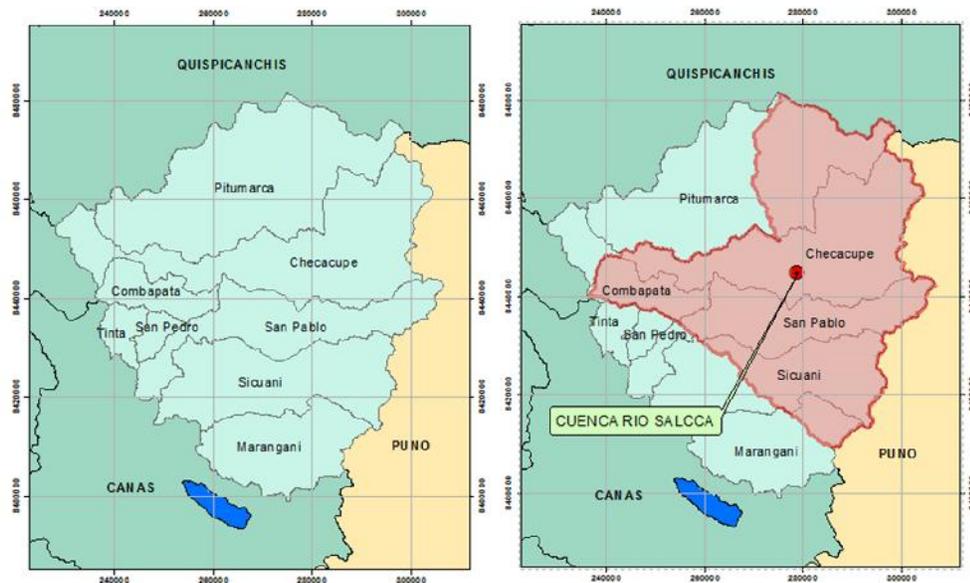


Figura 21: Mapa de ubicación a nivel distrital y cuenca Salcca
 Basado en información del IGP, web site oficial y Elaboración propia, 2021

c. Accesibilidad

La cuenca de nivel 6, perteneciente al río Salcca con unidad hidrográfica 499498, se ubica en la región de Cusco, provincia de Canchis, se puede acceder a la cuenca a través de:

Tabla 16: Accesibilidad a la zona de estudio

Tramo	Descripción	Distancia (Km)	Tiempo (Auto)	Vehículo
1	Cusco (Capital) - Distrito de Combapata	107	2 Hr 30 min	Movilidad propia Transporte urbano diario
	Distrito de Sicuani - Distrito de Combapata	32	30 min	Movilidad propia Transporte urbano diario
	Combapata - Zona de Desfogue (Fin)	1	3 min	Movilidad propia Pie
	Combapata - Parte media de la cuenca	25	35 min	Movilidad propia Transporte urbano esporádico
2	Cusco (Capital) - Distrito de San Pablo	126	2 Hr 45 min	Movilidad propia Transporte urbano diario
	Distrito de Sicuani - Distrito de San Pablo	13	15 min	Movilidad propia Transporte urbano diario
	San Pablo - Sector de Santa Bárbara (Parte media de la cuenca)	26	35 min	Movilidad propia Transporte urbano sábados y ferias
	San Pablo - Sector de Sibinacocha (Parte alta de la cuenca)	47	1 Hr 5 min	Movilidad propia

Fuente: Elaboración propia, 2021

1) Objetivo específico 01

A continuación, se tienen los resultados en función al objetivo específico 01: “Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas en el río Salcca”.

Para la obtención de los resultados se hizo uso de las metodologías probabilísticas: Distribución Gamma 3P, distribución Normal, distribución Log Normal 3P, distribución Log Pearson Tipo III y distribución Valor Tipo I (Gumbel), usando como base de información la serie histórica de caudales de la cuenca del río Salcca (tabla 10); A partir de ello, se procedió a la creación de una nueva ventana de trabajo en el software Easyfit, se copian los caudales totales y se procede a determinar las opciones de trabajo, que para nuestro caso fueron las distribuciones probabilísticas ya mencionadas, con ello se generan los resultados propios de cada parámetro de distribución, posteriormente se realizó la prueba de bondad mediante dos métodos (Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov), para poder observar que metodología de distribución probabilística, se ajusta mejor. Posterior a ello se generaron los caudales máximos para las distribuciones probabilísticas empleadas en función a los distintos periodos de retorno determinados.

	A	B	C	D	E	F	G
1	82.28						
2	92.91						
3	96.76						
4	113.81						
5	80.66						
6	82.97						
7	74.04						
8	78.12						
9	81.13						
10	89.22						
11	89.93						
12	81.25						
13	80.08						
14	91.31						
15	80.33						
16	89.66						
17	99.70						
18	106.96						
19	82.37						
20	83.97						
21	71.88						
22	80.87						
23	102.34						
24	80.79						
25	89.60						

Figura 22: Software Easyfit, datos de caudales Salcca, serie histórica de 25 años
Elaboración propia, 2021

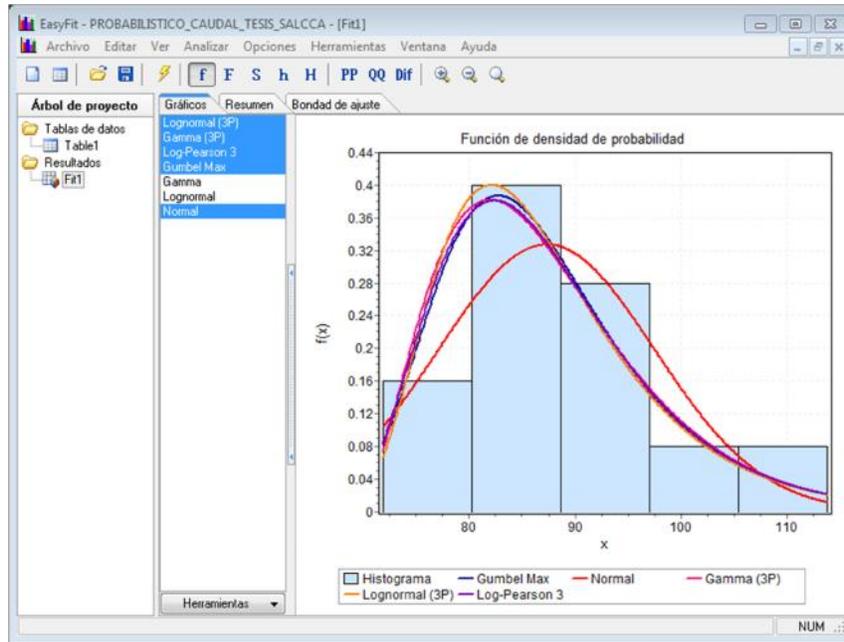


Figura 23: Software *Easyfit*, distribuciones probabilísticas empleadas
Elaboración propia, 2021

Realizado los cálculos correspondientes de las diferentes distribuciones, se obtuvieron los siguientes resultados en función a sus principales parámetros estadísticos como son: Moda, Media, Varianza, Desviación estándar y Coeficiente de variación, en la tabla 17 se observa los resultados que se obtuvieron para los parámetros estudiados:

Tabla 17: *Calculo de los parámetros de distribución*

Método Probabilístico	Moda	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Distribución Normal	87.318	87.318	10.223	0.11708
Distribución Log Normal 3P	82.105	87.327	10.205	0.11686
Distribución Log Pearson Tipo III	82.377	87.342	10.297	0.11789
Distribución Gamma 3P	81.952	87.318	10.023	0.11479
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)	82.717	87.318	10.223	0.11708

Fuente: Elaboración propia, 2021

Del análisis de pruebas de bondad, mediante las pruebas Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov; En la tabla 18, se observan los resultados para la prueba Chi cuadro observando que quien presenta un mejor ajuste es la distribución Valor Tipo I (Gumbel), seguido de la distribución Log Pearson Tipo III, seguido de la distribución Log Normal 3P, seguido de la distribución Gamma 3P y último a la

distribución Normal; De igual manera en la tabla 19, se observan los resultados para la prueba Kolmogorov Smirnov, observando que quien presenta un mejor ajuste es la distribución Log Normal 3P, seguido de la distribución Gamma 3P, seguido de la distribución Log Pearson Tipo III, seguido de la distribución Valor Tipo I (Gumbel) y último a la distribución Normal, se tienen:

Tabla 18: Prueba de bondad Chi Cuadrado

Método Probabilístico	Prueba Chi Cuadrado	
	Estadística	Rango
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)	1.5486	1
Distribución Log Pearson Tipo III	1.5974	2
Distribución Log Normal 3P	1.6964	3
Distribución Gamma 3P	1.7030	4
Distribución Normal	5.5171	5

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla 19: Prueba de bondad Kolmogorov Smirnov

Método Probabilístico	Prueba Kolmogorov Smirnov	
	Estadística	Rango
Distribución Log Normal 3P	0.1352	1
Distribución Gamma 3P	0.1352	2
Distribución Log Pearson Tipo III	0.1360	3
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)	0.1404	4
Distribución Normal	0.1883	5

Fuente: Elaboración propia, 2021

De las tablas 18 y 19, para la presente investigación, nos basamos únicamente en los resultados obtenidos por la prueba de ajuste Kolmogorov Smirnov, ya que la mayoría de especialista indica que esta prueba es la más representativa, y que el MTC (2011) indica textualmente: Cabe subrayar que la prueba Chi Cuadrado, desde el sentido de la investigación matemática, debería usarse principalmente para verificar la normalidad de las funciones Log normal y Normal.

Con todos los criterios descritos anteriormente, se procedió a la determinación de los caudales máximos para T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años, mediante el uso de las distribuciones de probabilidad.

1. Caudal máximo, T = 2 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 2 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 20: Caudales máximos en T=2 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.5	85.45
Distribución Gamma 3P		85.56
Distribución Log Pearson Tipo III		85.59
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		85.64
Distribución Normal		87.32

Fuente: Elaboración propia, 2021

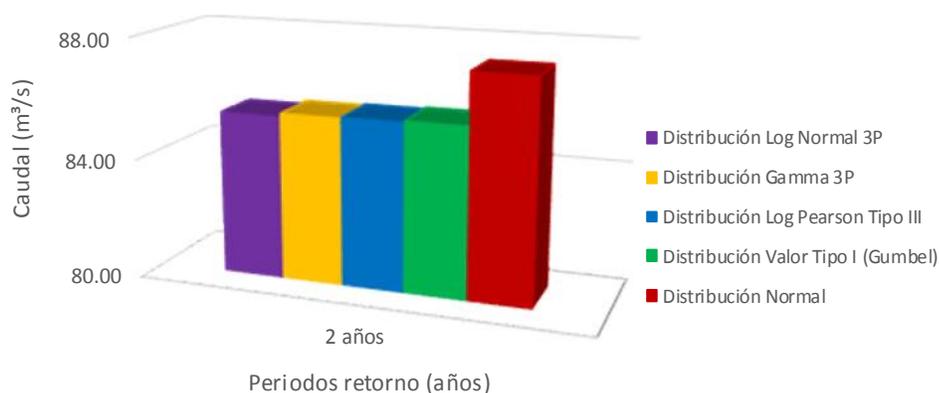


Figura 24: Caudales máximos en T=2 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 20 y figura 24, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 2 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (85.45 m³/s), Distribución Gamma 3P (85.56 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (85.59 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (85.64 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (87.32 m³/s) tiene un valor relativamente mayor a los demás.

2. Caudal máximo, T = 5 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 5 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 21: Caudales máximos en T=5 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.8	94.50
Distribución Gamma 3P		94.83
Distribución Log Pearson Tipo III		94.81
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		94.67
Distribución Normal		95.92

Fuente: Elaboración propia, 2021

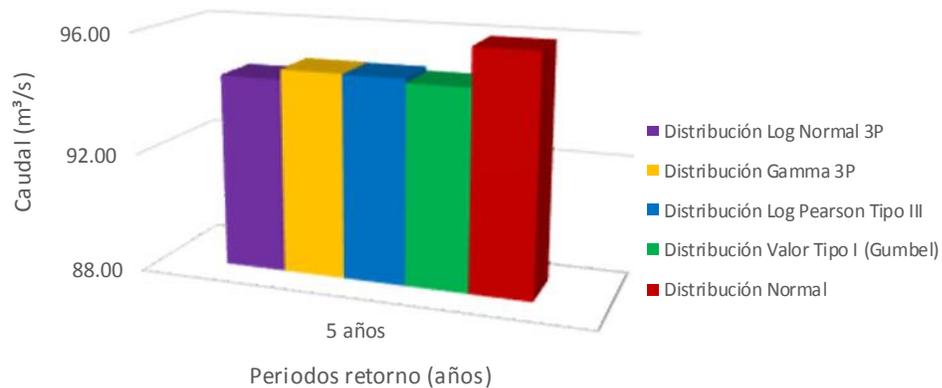


Figura 25: Caudales máximos en T=5 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 21 y figura 25, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 5 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (94.50 m³/s), Distribución Gamma 3P (94.83 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (94.81 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (94.67 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (95.92 m³/s) tiene un valor relativamente mayor a los demás.

3. Caudal máximo, T = 10 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 10 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 22: Caudales máximos en T=10 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.9	100.59
Distribución Gamma 3P		100.76
Distribución Log Pearson Tipo III		100.84
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		100.65
Distribución Normal		100.42

Fuente: Elaboración propia, 2021

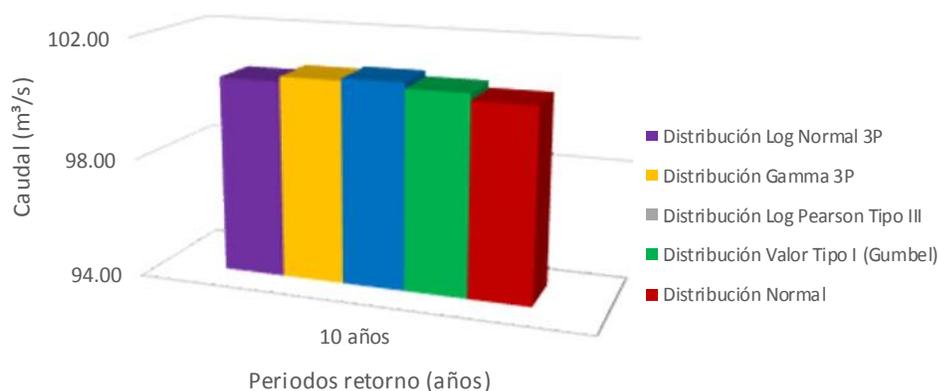


Figura 26: Caudales máximos en T=10 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 22 y figura 26, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 10 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (100.59 m³/s), Distribución Gamma 3P (100.76 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (100.84 m³/s), Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (100.65 m³/s) y la Distribución Normal (100.42 m³/s), no presentan gran variación numérica y se ajustan muy bien estadísticamente y gráficamente.

4. Caudal máximo, T = 20 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 20 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 23: Caudales máximos en T=20 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.95	106.49
Distribución Gamma 3P		106.25
Distribución Log Pearson Tipo III		106.58
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		106.39
Distribución Normal		104.13

Fuente: Elaboración propia, 2021

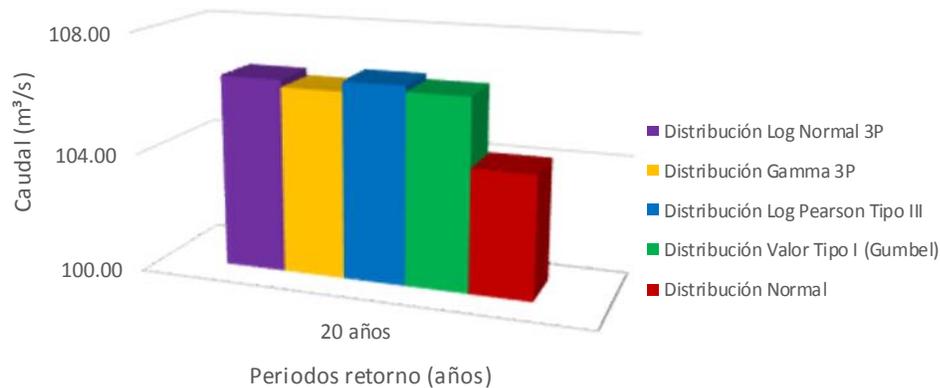


Figura 27: Caudales máximos en T=20 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 23 y figura 27, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 20 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (106.49 m³/s), Distribución Gamma 3P (106.25 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (106.58 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (106.39 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (104.13 m³/s) tiene un valor relativamente menor a los demás.

5. Caudal máximo, T = 50 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 50 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 24: Caudales máximos en T=50 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.98	114.25
Distribución Gamma 3P		113.10
Distribución Log Pearson Tipo III		114.00
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		113.82
Distribución Normal		108.31

Fuente: Elaboración propia, 2021

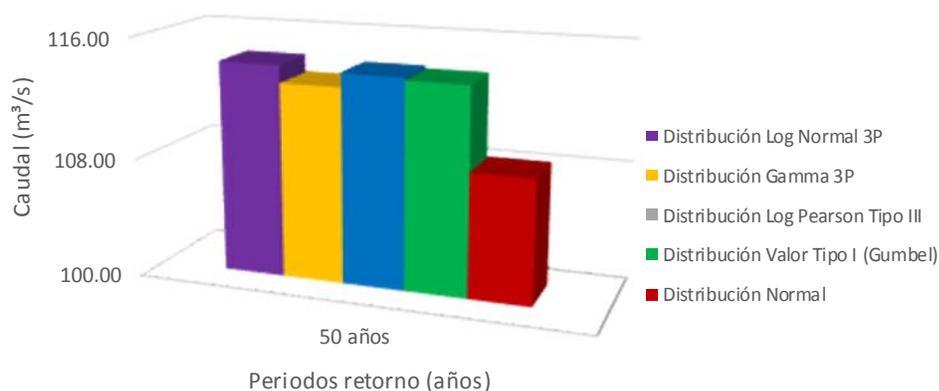


Figura 28: Caudales máximos en T=50 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 24 y figura 28, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 50 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (114.25 m³/s), Distribución Gamma 3P (113.10 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (114.00 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (113.82 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (108.31 m³/s) tiene un valor altamente menor a los demás.

6. Caudal máximo, T = 100 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 100 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 25: Caudales máximos en T=100 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.99	120.16
Distribución Gamma 3P		118.07
Distribución Log Pearson Tipo III		119.58
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		119.38
Distribución Normal		111.10

Fuente: Elaboración propia, 2021

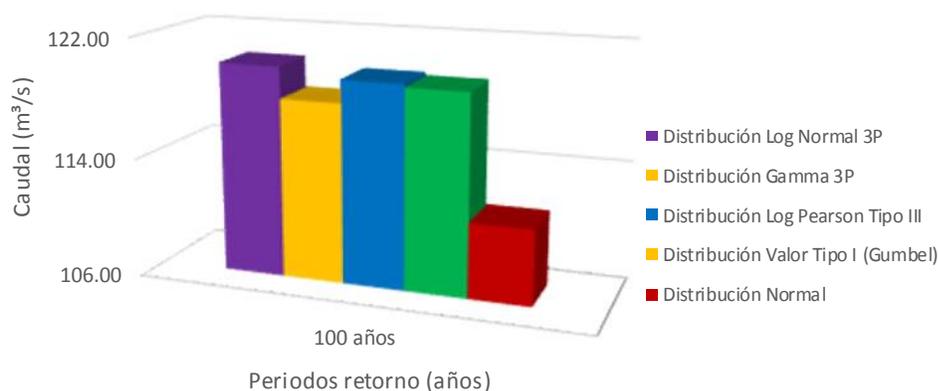


Figura 29: Caudales máximos en T=100 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 25 y figura 29, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 100 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (120.16 m³/s), Distribución Gamma 3P (118.07 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (119.58 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (119.38 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (111.10 m³/s) tiene un valor altamente menor a los demás.

7. Caudal máximo, T = 200 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 200 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 26: Caudales máximos en T=200 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.997	126.17
Distribución Gamma 3P		122.90
Distribución Log Pearson Tipo III		125.19
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		124.93
Distribución Normal		113.65

Fuente: Elaboración propia, 2021

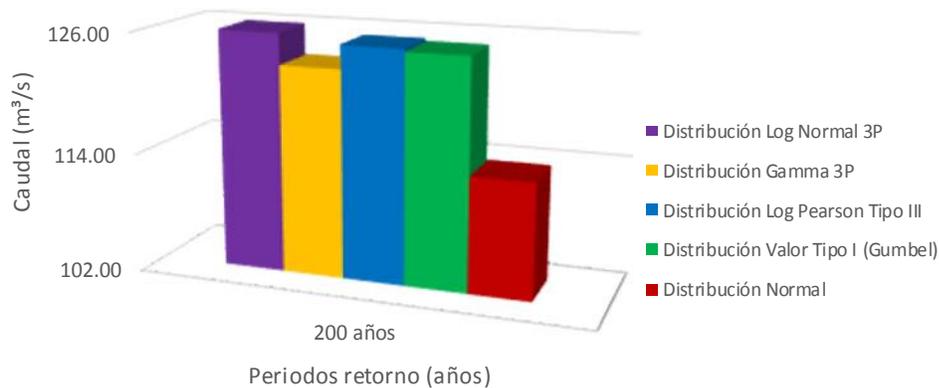


Figura 30: Caudales máximos en T=200 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 26 y figura 30, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 200 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (126.17 m³/s), Distribución Gamma 3P (122.90 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (125.19 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (124.93 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (113.65 m³/s) tiene un valor altamente menor a los demás.

8. Caudal máximo, T = 500 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 500 años, en función a las distribuciones probabilísticas empleadas, se tiene:

Tabla 27: Caudales máximos en T=500 años, cuenca Salcca

Método Probabilístico	Probabilidad (%)	Caudal máximo (m ³ /s)
Distribución Log Normal 3P	0.998	134.31
Distribución Gamma 3P		129.13
Distribución Log Pearson Tipo III		132.71
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		132.24
Distribución Normal		116.74

Fuente: Elaboración propia, 2021

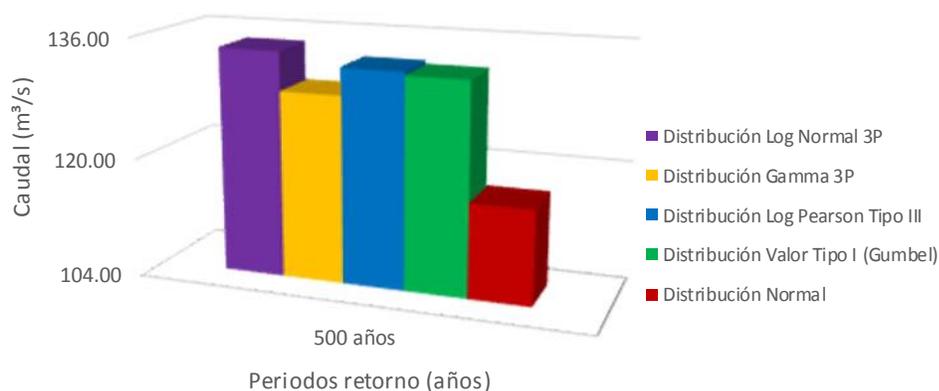


Figura 31: Caudales máximos en T=500 años, cuenca Salcca

Elaboración propia, 2021

De la tabla 27 y figura 31, realizando un análisis de datos (de relación numérica y de la prueba Kolmogorov Smirnov) y un análisis gráfico, en función a los resultados obtenidos para T = 500 años, se verifica que la Distribución Log Normal 3P (134.31 m³/s), Distribución Gamma 3P (129.13 m³/s), Distribución Log Pearson Tipo III (132.71 m³/s) y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) (132.24 m³/s), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente y que la Distribución Normal (116.74 m³/s) tiene un valor altamente menor a los demás.

A continuación, se representa un análisis gráfico, de las distribuciones probabilísticas y periodos de retorno empleados, se tiene:

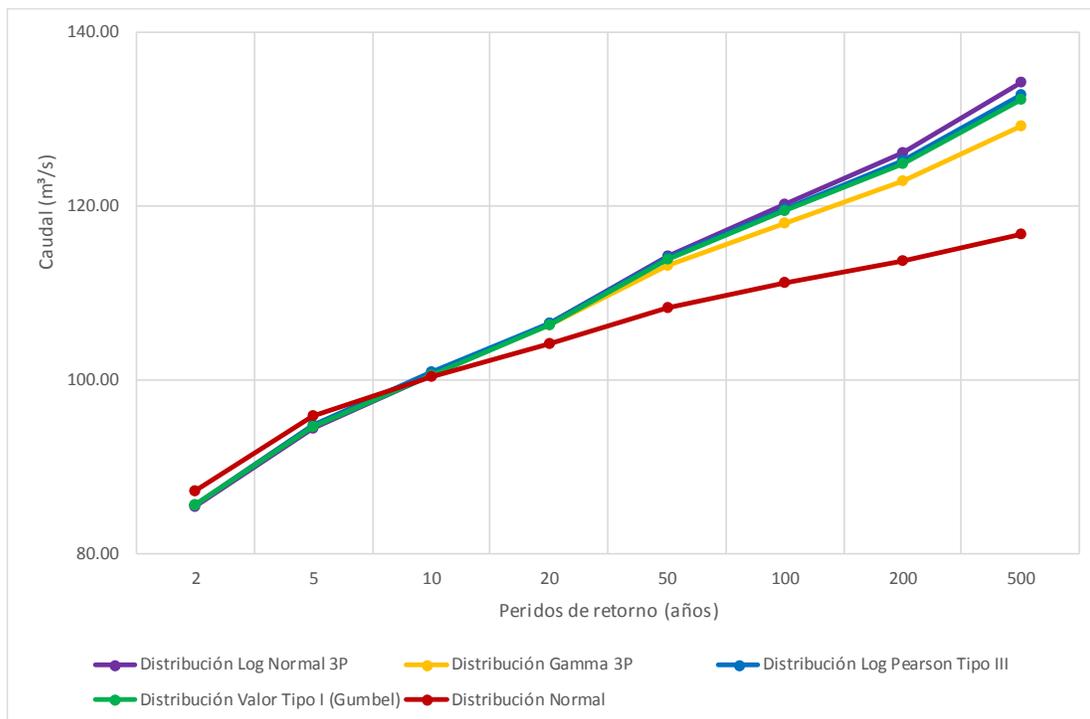


Figura 32: Caudales máximos en T=años, cuenca Salcca
Elaboración propia, 2021

La figura 32, nos muestra los resultados obtenidos haciendo uso de las metodologías probabilísticas. Que la Distribución Log Normal 3P, Distribución Gamma 3P, Distribución Log Pearson Tipo III y Distribución Valor Tipo I (Gumbel), son las que se ajustan mejor estadísticamente y gráficamente, y que la Distribución Normal presenta mayor variación.

Para corroborar los resultados obtenidos, se hizo uso de los umbrales de riesgo para caudales máximos proporcionados en el reporte del ANA (2021), se tiene:

Tabla 28: Reporte de periodos de transición, 2021

Umbral de riesgo (m³/s)		
Normal	Alerta	Emergencia
< 69	70 - 89	> 90
Verde	Ambar	Rojo

Fuente: Adaptado de ANA, reporte N° 107-2021 para Periodos de transición de ríos y embalses a mayo del 2021.

Con la tabla 28, se realizó un gráfico de los caudales máximos obtenidos en función a dichos umbrales, se tiene:

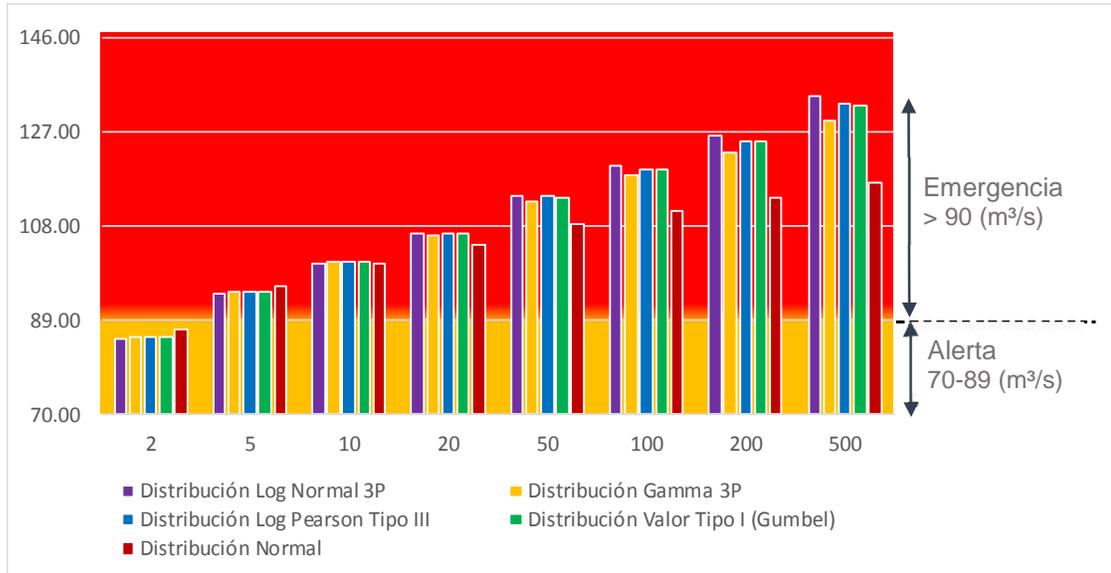


Figura 33: Caudales máximos – umbrales de riesgo
Elaboración propia, 2021

De la figura 33. Se observa que los caudales obtenidos para $T = 2$ se encuentran en umbrales de riesgo de ALERTA y que los caudales obtenidos para $T = 5, 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años se encuentran en umbrales de riesgo de EMERGENCIA, lo que evidencia que la investigación cumple con presentar esos caudales máximos esperados.

Por último, las metodologías probabilísticas empleadas, principalmente con los datos históricos de 25 años de caudales máximos de la estación Sallca, nos muestran valores aceptables. Que se ha evidenciado en la descripción de los diferentes ítems de los caudales obtenidos, para diferentes periodos de retorno, que las distribuciones empleadas principalmente la Distribución Log Normal 3P y la Distribución Gamma 3P, muestran mejor relación estadística y comparativa aceptables (realizada con la prueba de Kolmogorov Smirnov) y que gráficamente también se encuentran dentro de los umbrales de riesgo.

2) Objetivo específico 02

A continuación, se tienen los resultados en función al objetivo específico 02: “Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas en el río Salcca”.

Para la obtención de los resultados se hizo uso de las metodologías hidrometeorológicas dentro de las cuales se tienen: Hidrograma Unitario Clark, Hidrograma Unitario Snyder y Hidrograma Unitario SCS, usando como base de información las precipitaciones generadas para la cuenca Salca y el procedimiento de determinación de la Intensidad de la lluvia (hietogramas), según los diferentes Periodos de retorno.

A partir de lo anterior y ya ubicados en el entorno de trabajo del software HEC HMS, se procedió de la siguiente manera:

- Creación de un nuevo modelo de trabajo (New model)
- Creación del componente básico de cuenca (Basin model manager)
- Importación de la cuenca de trabajo Salcca (Map layers)
- Creación de las herramientas de entrada (Sink creation tool)
Se introduce los hidrogramas unitarios empleados y sus diferentes parámetros calculados.
- Creación de las herramientas de recepción (Subbasin creation tool)
- Creación del componente de datos de tiempo (Time series data manager)
Se introducen los parámetros de precipitación propios de la cuenca Salcca, obtenidos en la metodología de aplicación.
- Creación del componente meteorológico (Meteorologic models)
Se valida la cuenca de estudio generada y la precipitación empleadas para los hidrogramas unitarios empleados
- Creación del componente de control de datos (Control specifications)
- Generación del modelo de simulación (Simulation run)

En la figura 34, podemos observar la creación de los hidrogramas unitarios empleados en el software HEC HMS, y los demás componentes necesarios para el procesamiento del modelo hidrológico.

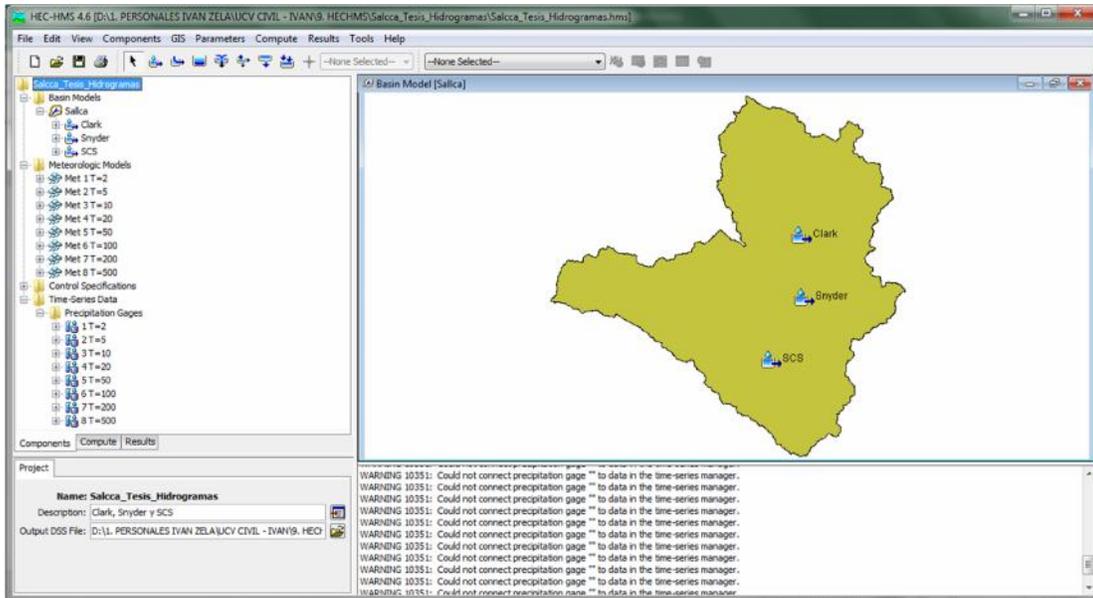


Figura 34: Software HEC HMS, hidrogramas unitarios Clark, Snyder y SCS
Elaboración propia, 2021

En la figura 35, podemos observar que una vez ingresados los datos necesarios en los diferentes componentes del software HEC HMS, y generando la simulación del modelo, este completo el análisis al 100%, sin presentar observaciones u errores que invaliden dicho modelo, el modelo se realizó para los diferentes $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años, se tiene:

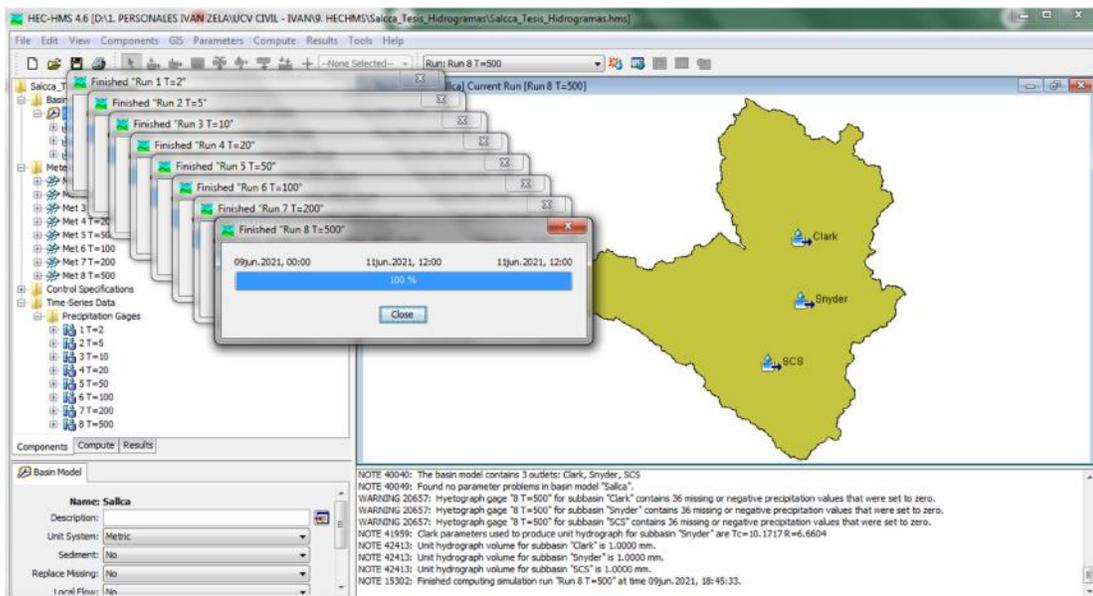
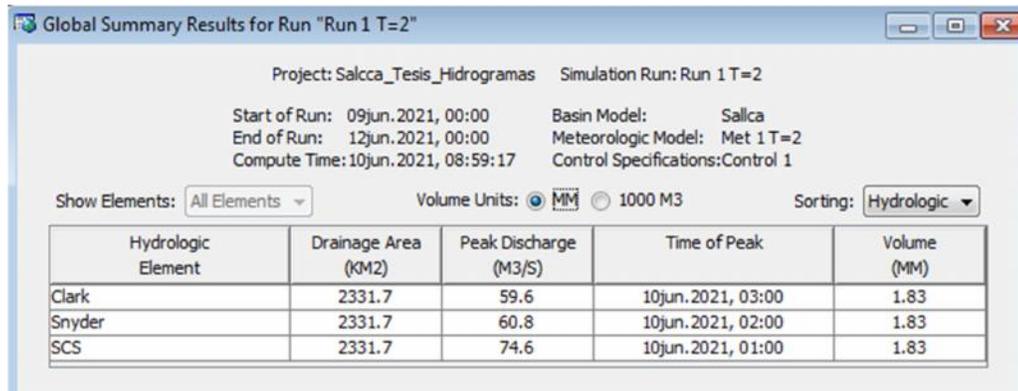


Figura 35: Software HEC HMS, modelo de simulación correctamente generado
Elaboración propia, 2021

1. Caudal máximo, T = 2 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 2 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:



Global Summary Results for Run "Run 1 T=2"

Project: Salcca_Tesis_Hidrogramas Simulation Run: Run 1 T=2

Start of Run: 09jun.2021, 00:00 Basin Model: Salcca
End of Run: 12jun.2021, 00:00 Meteorologic Model: Met 1 T=2
Compute Time: 10jun.2021, 08:59:17 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Clark	2331.7	59.6	10jun.2021, 03:00	1.83
Snyder	2331.7	60.8	10jun.2021, 02:00	1.83
SCS	2331.7	74.6	10jun.2021, 01:00	1.83

Figura 36: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=2 años

Elaboración propia, 2021

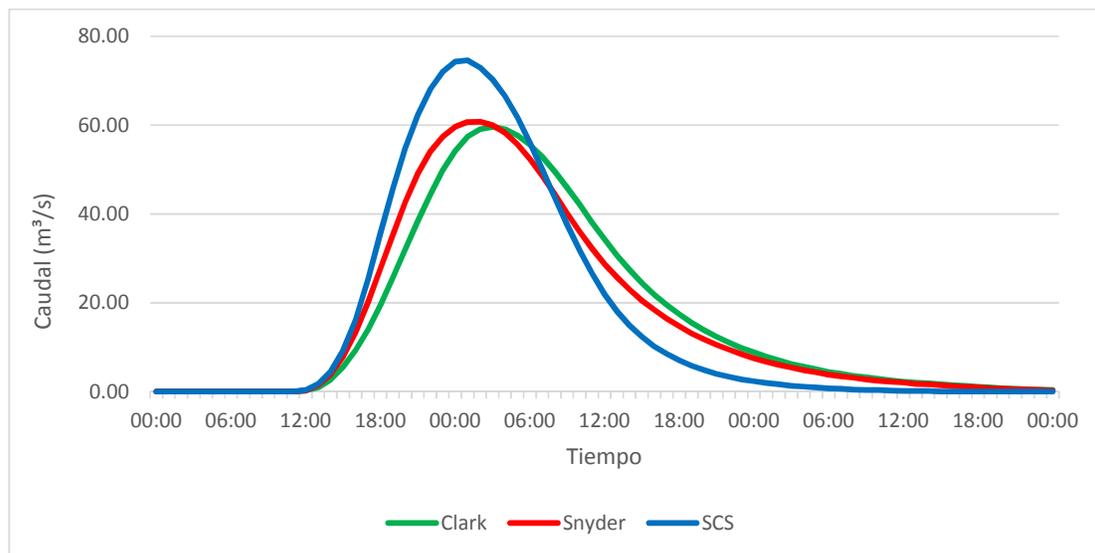


Figura 37: Caudales máximos, hidrogramas en T=2 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 36 y 37, en función a los resultados obtenidos para T = 2 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (59.60 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (60.80 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (74.60 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

2. Caudal máximo, T = 5 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 5 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

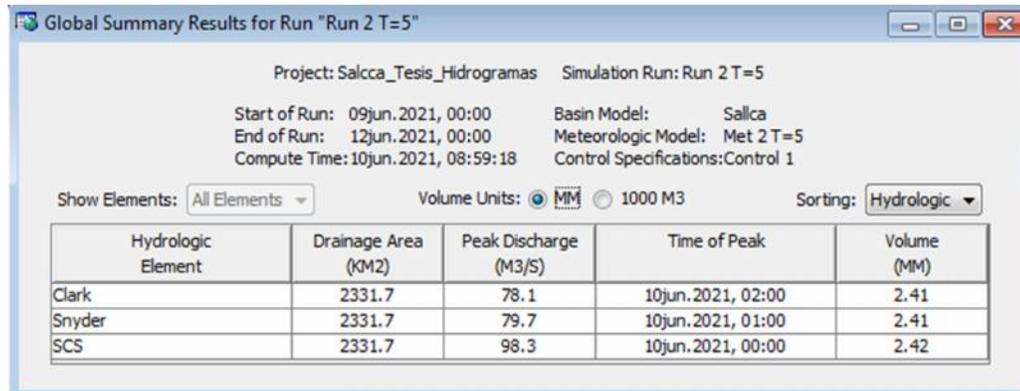


Figura 38: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=5 años

Elaboración propia, 2021

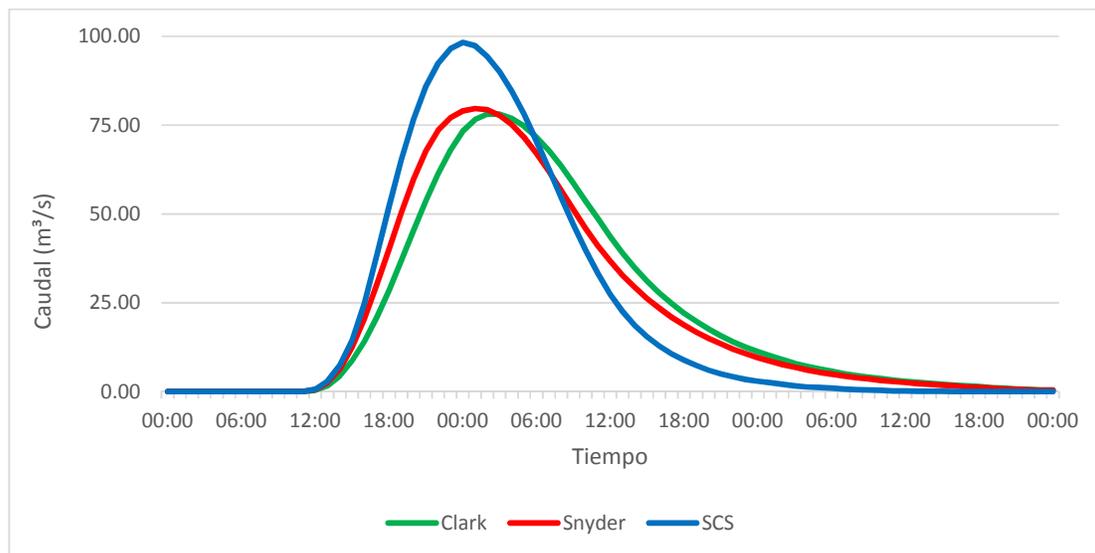


Figura 39: Caudales máximos, hidrogramas en T=5 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 38 y 39, en función a los resultados obtenidos para T = 5 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (78.10 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (79.70 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (98.30 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

3. Caudal máximo, T = 10 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 10 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

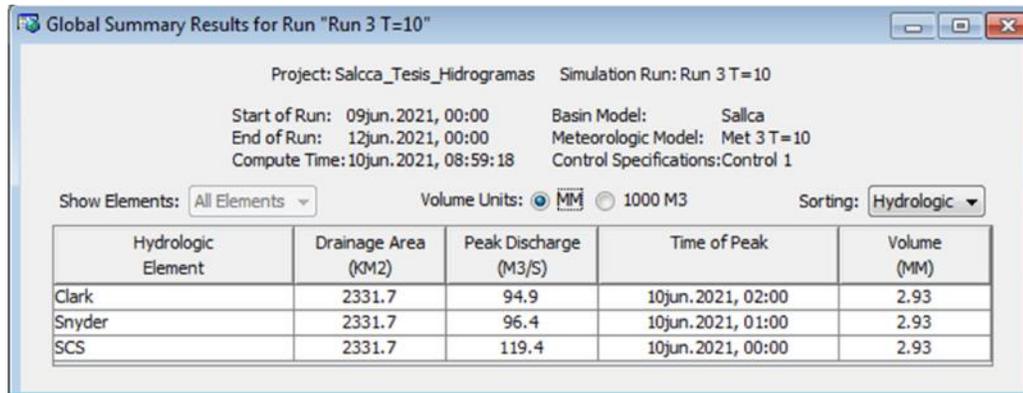


Figura 40: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=10 años

Elaboración propia, 2021

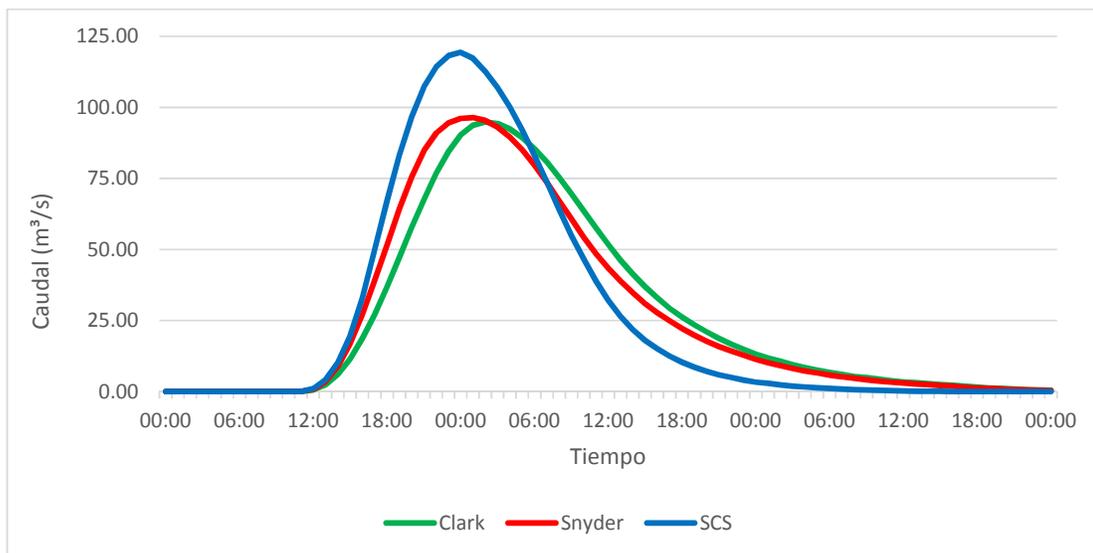


Figura 41: Caudales máximos, hidrogramas en T=10 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 40 y 41, en función a los resultados obtenidos para T = 10 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (94.90 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (96.40 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (119.40 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

4. Caudal máximo, T = 20 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 20 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

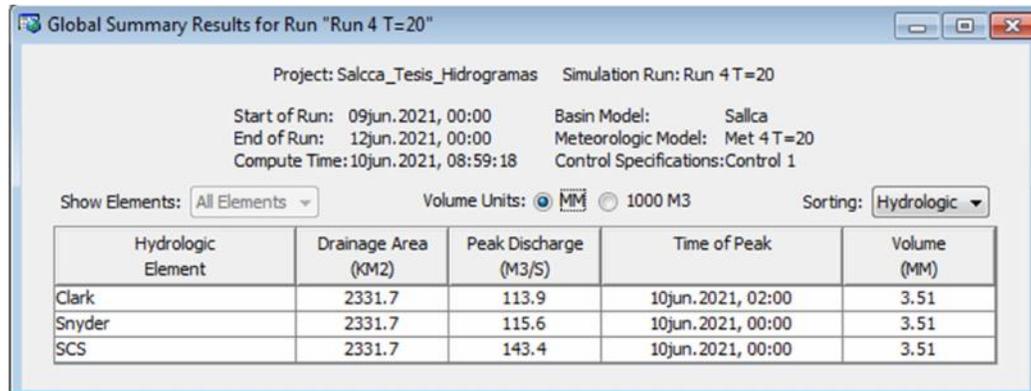


Figura 42: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=20 años

Elaboración propia, 2021

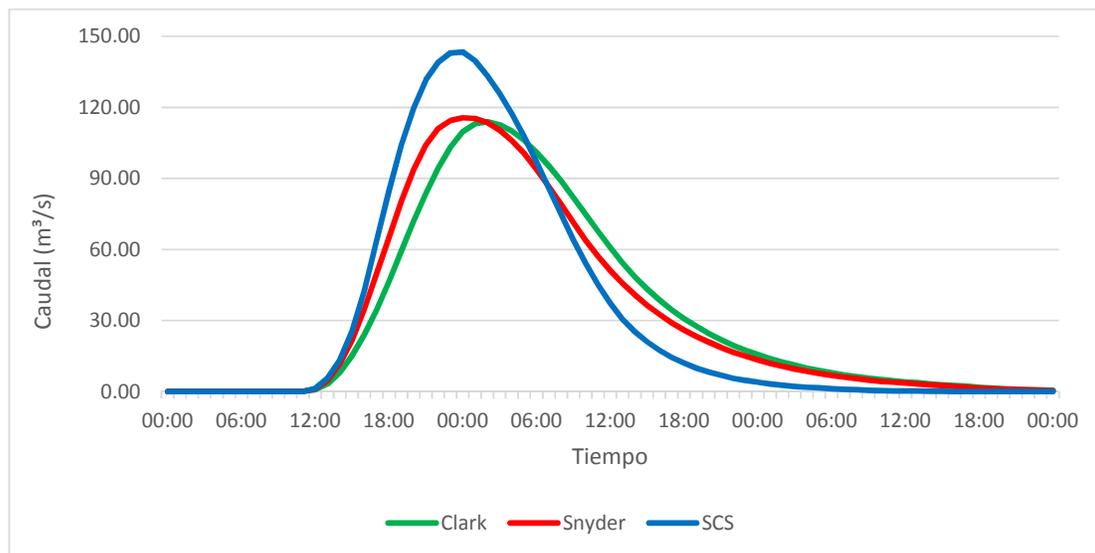


Figura 43: Caudales máximos, hidrogramas en T=20 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 42 y 43, en función a los resultados obtenidos para T = 20 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (113.90 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (115.60 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (143.40 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

5. Caudal máximo, T = 50 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 50 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

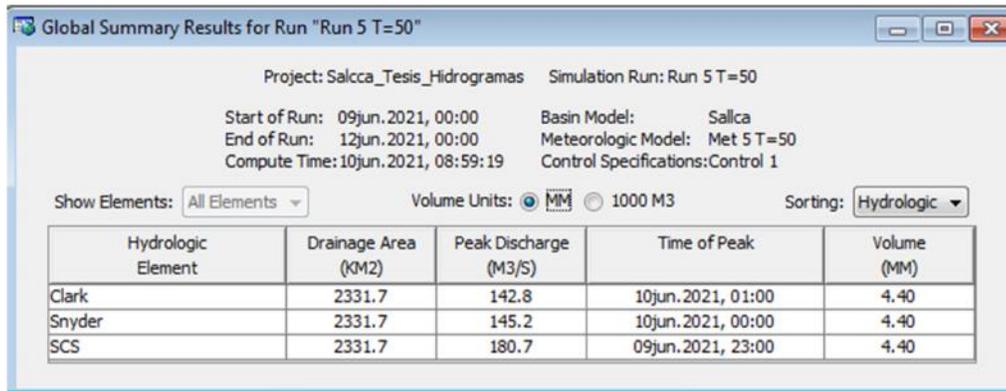


Figura 44: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=50 años

Elaboración propia, 2021

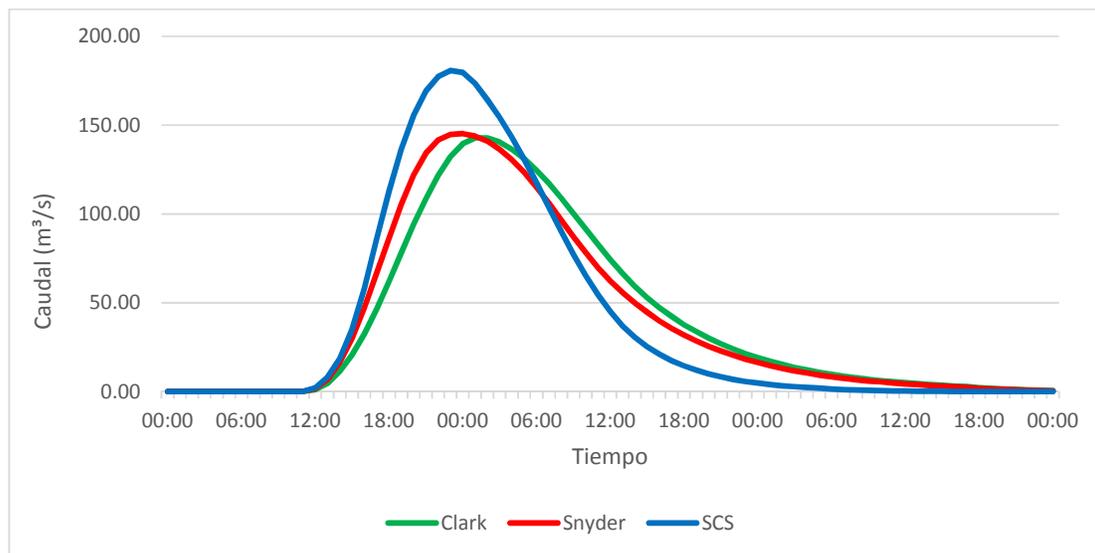


Figura 45: Caudales máximos, hidrogramas en T=50 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 44 y 45, en función a los resultados obtenidos para T = 50 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (142.80 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (145.20 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (180.70 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

6. Caudal máximo, T = 100 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 100 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

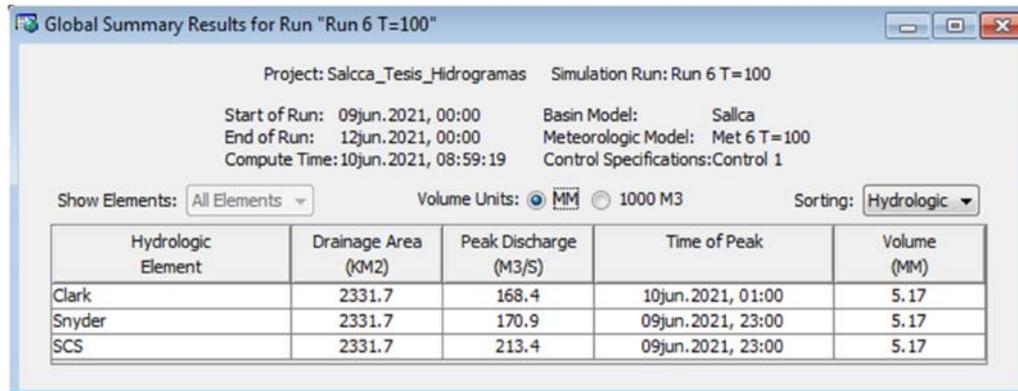


Figura 46: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=100 años

Elaboración propia, 2021

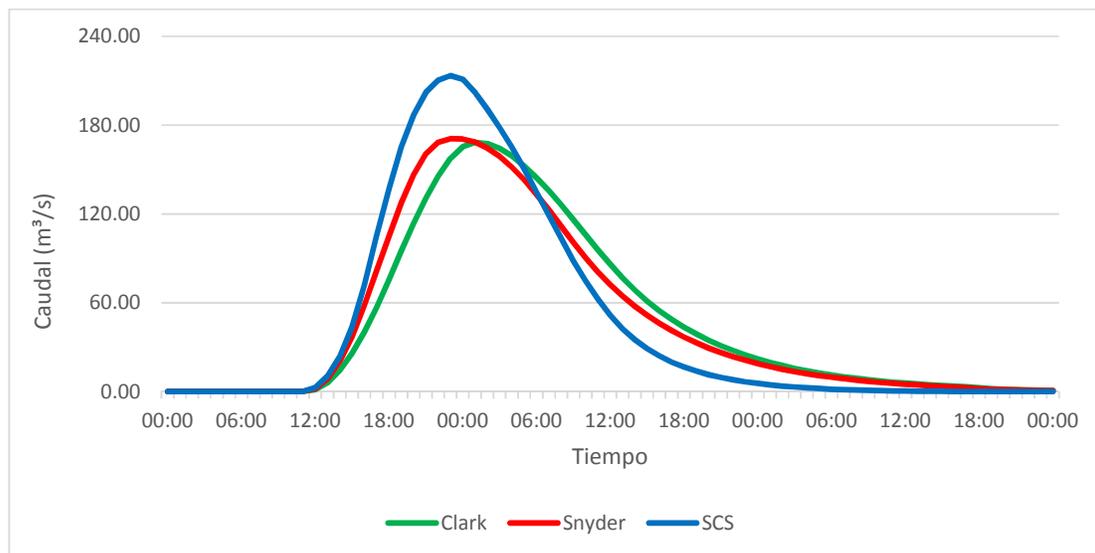


Figura 47: Caudales máximos, hidrogramas en T=100 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 46 y 47, en función a los resultados obtenidos para T = 100 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (168.40 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (170.90 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (213.40 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

7. Caudal máximo, T = 200 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 200 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

The screenshot shows the 'Global Summary Results for Run "Run 7 T=200"' window. It includes project details, simulation parameters, and a table of hydrologic elements. The table lists three methods: Clark, Snyder, and SCS, all with a drainage area of 2331.7 KM2. The peak discharges are 197.1 M3/S for Clark, 200.3 M3/S for Snyder, and 250.0 M3/S for SCS. The peak times are 10jun.2021, 01:00 for Clark, and 09jun.2021, 23:00 for both Snyder and SCS. The volume for all is 6.02 MM.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Clark	2331.7	197.1	10jun.2021, 01:00	6.02
Snyder	2331.7	200.3	09jun.2021, 23:00	6.02
SCS	2331.7	250.0	09jun.2021, 23:00	6.02

Figura 48: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=200 años

Elaboración propia, 2021

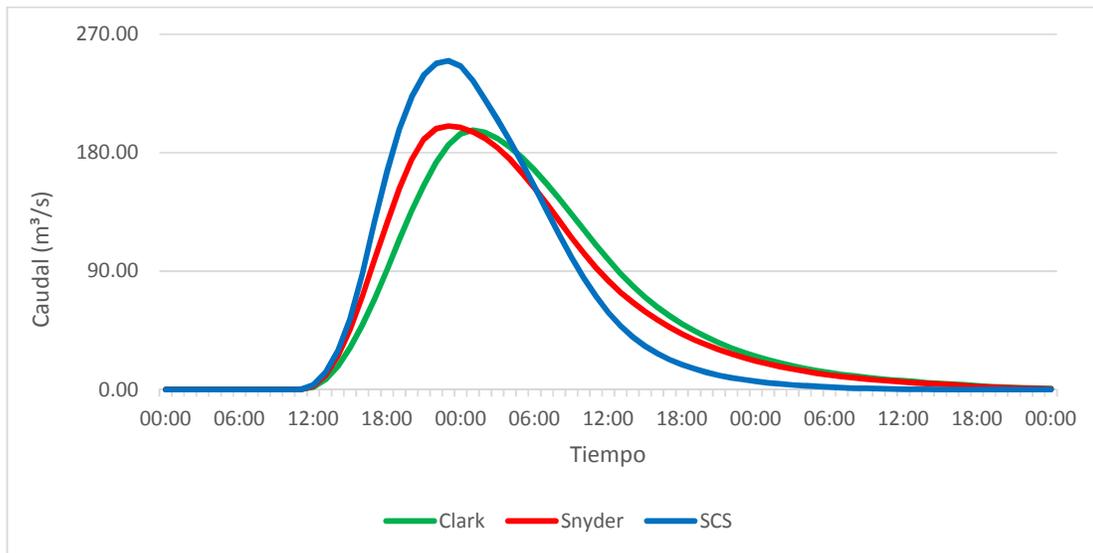


Figura 49: Caudales máximos, hidrogramas en T=200 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 48 y 49, en función a los resultados obtenidos para T = 200 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (197.10 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (200.30 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (250.00 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

8. Caudal máximo, T = 500 años:

Realizado los procedimientos de aplicación se presenta los resultados de los caudales máximos para un T = 500 años, en función a los hidrogramas unitarios empleados:

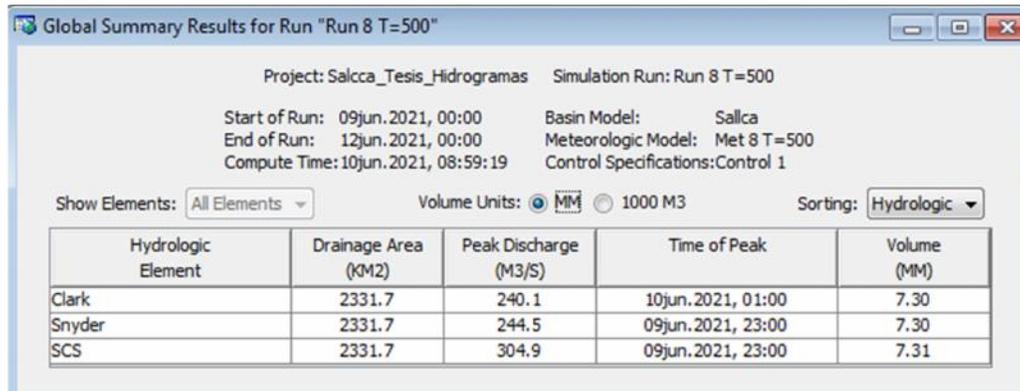


Figura 50: Reporte HEC HMS, hidrogramas para T=500 años

Elaboración propia, 2021

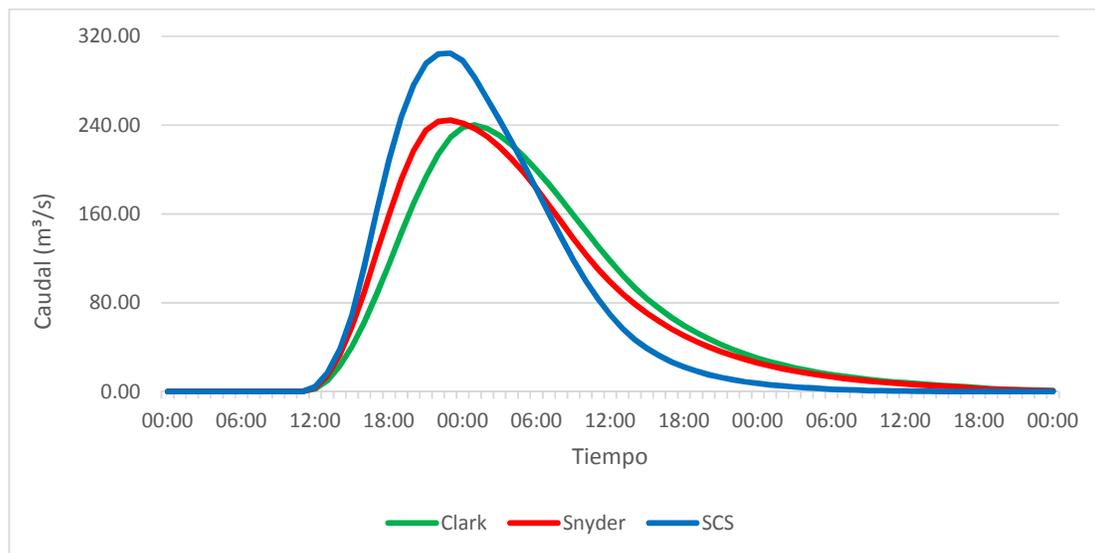


Figura 51: Caudales máximos, hidrogramas en T=500 años

Elaboración propia, 2021

De las figuras 50 y 51, en función a los resultados obtenidos para T = 500 años, podemos observar que tanto el hidrograma unitario de Clark (240.10 m³/s) como el hidrograma unitario de Snyder (244.50 m³/s) presentan caudales aproximados y que el hidrograma unitario de la SCS (304.90 m³/s) presenta el caudal mayor, pero alejado, muy por encima de los demás métodos.

A continuación, se representa un análisis gráfico, de los hidrogramas unitarios y periodos de retorno empleados, se tiene:

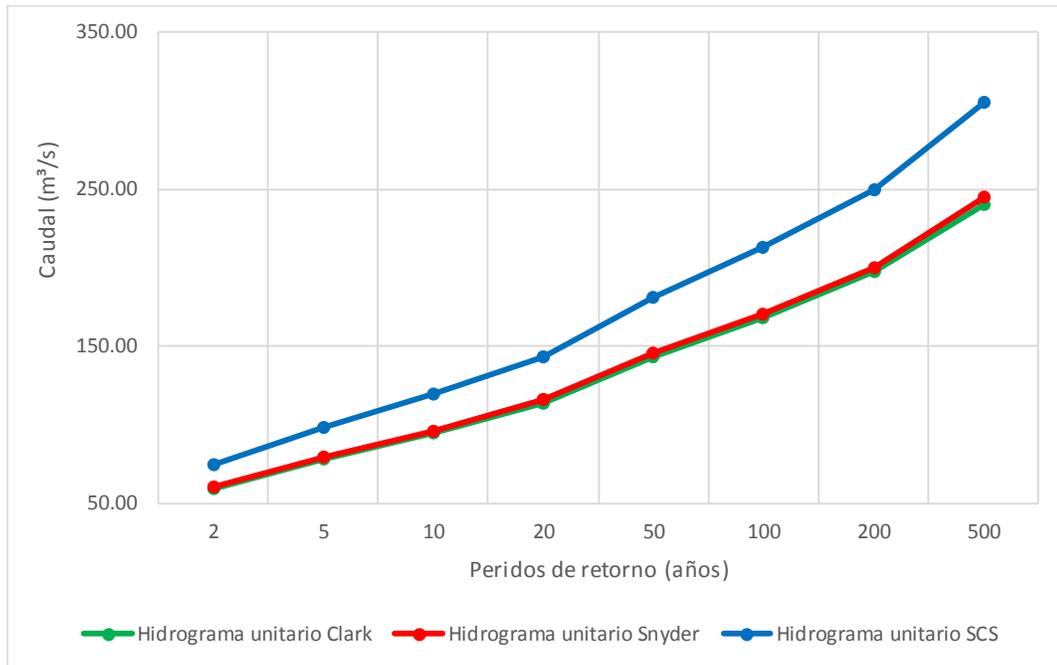


Figura 52: Caudales máximos en T =años, cuenca Salcca
Elaboración propia, 2021

La figura 52, nos muestra los resultados obtenidos haciendo uso de los hidrogramas unitarios. Mostrándonos que los resultados obtenidos no presentan una gran variabilidad estadística entre los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder, siendo los que mejor se ajuntan estadísticamente y gráficamente. En el caso del hidrograma unitario de la SCS este tiene los caudales máximos de mayor valor, que se encuentran muy por encima de los otros métodos empleados.

Igualmente, con la tabla 28, se realizó un gráfico de los caudales máximos obtenidos en función a dichos umbrales, observando la figura 53, que los caudales obtenidos para $T = 2$ se encuentran en umbrales de riesgo NORMAL, los caudales obtenidos para $T = 5$ se encuentran en umbrales de riesgo de ALERTA y , los caudales obtenidos para $T = 10, 20, 50, 100, 200$ y 500 años se encuentran en umbrales de riesgo de EMERGENCIA, lo que evidencia que la investigación cumple con presentar esos caudales máximos esperados, se tiene:

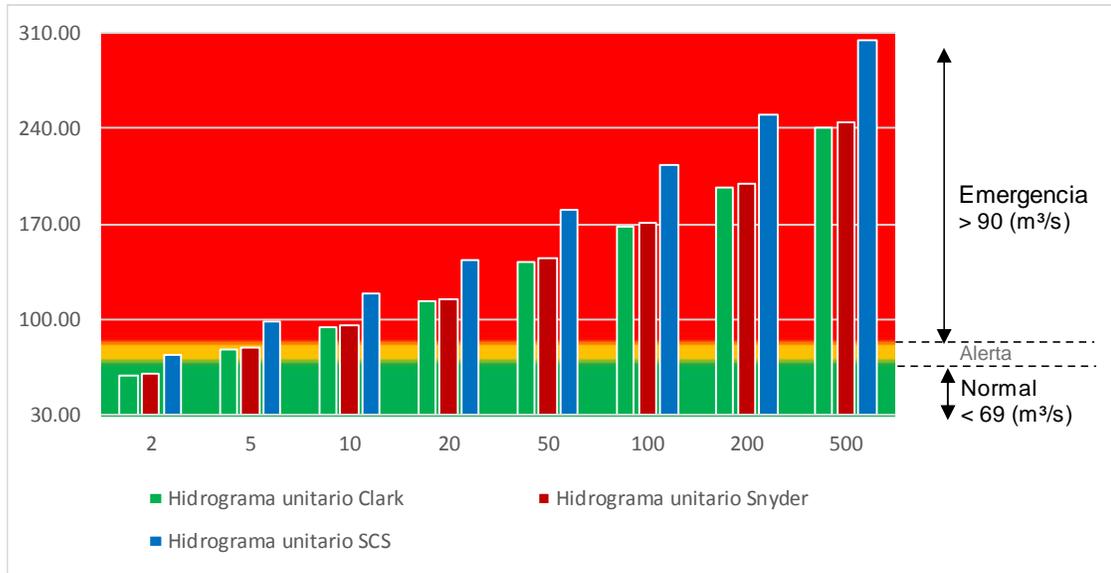


Figura 53: Caudales máximos, hidrogramas– umbrales de riesgo
 Elaboración propia, 2021

Por último, las metodologías hidrometeorológicas empleadas, en base a las precipitaciones de los datos históricos de 25 años de las estaciones de Sicuani, Salcca y Pomacanchi, y los diferentes parámetros de cuenca, nos muestran caudales máximos próximos entre los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder y caudales máximos muy por encima de estos métodos con el hidrograma unitario de la SCS.

3) Objetivo específico 03

A continuación, se tienen los resultados en función al objetivo específico 03: “Proponer medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo a causa de los caudales máximos resultantes en el río Salcca”.

Para la obtención de los resultados se hizo uso del software HEC RAS versión 5.0.7. Para ello se usó como base de información: Caudales máximos para diseño de muros de contención (defensa riberena, $T = 100$ años), Coeficientes de Manning en función de las condiciones de la cuenca Salcca y Topografía obtenida mediante imagen en formato DEM, de la cuenca Salcca.

A partir de lo anterior y ya ubicados en el entorno de trabajo del software HEC RAS, se procedió de la siguiente manera:

- Creación de un nuevo modelo de trabajo (New model)
- Creación de los componentes en el RAS Mapper
- Importancia de la cuenca en formato DEM
- Creación de la geometría de la cuenca Salcca
Se crea, el eje de río (river), las márgenes derecha e izquierda (bank lines), las posibles zonas de inundación (flow paths) y las secciones (cross sections).
- Importación de la geometría
- Creación de la condición de diseño (Permanente y no permanente)
- Creación del plan de análisis y simulación del modelo creado

En la figura 54 y 55, podemos observar la creación de los componentes necesarios en el software HEC RAS.

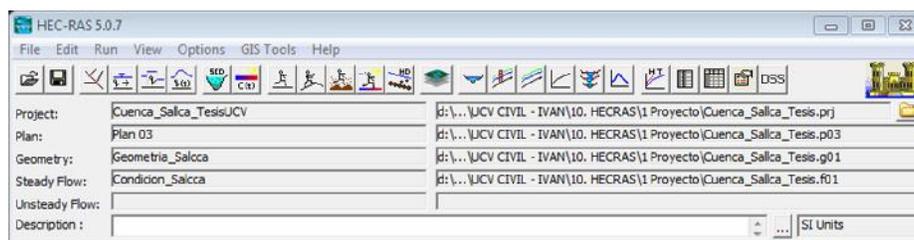


Figura 54: Software HEC RAS, creación de los componentes de diseño
Elaboración propia, 2021

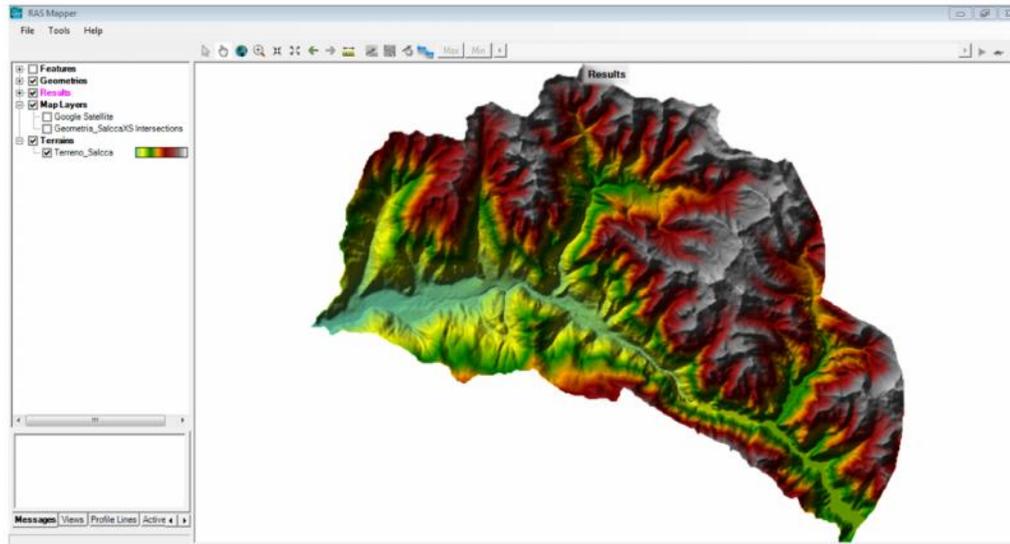


Figura 55: Software HEC RAS, Importación de la cuenca de trabajo, parte baja
Elaboración propia, 2021

En la figura 56, podemos observar que una vez ingresados los datos necesarios en los diferentes componentes del software HEC RAS y generando la simulación del modelo, este completo el análisis al 100%, sin presentar observaciones u errores que invaliden dicho modelo, el modelo se realizó para la identificación de los tramos que resulten en riesgo, para $T = 100$ años, se tiene:

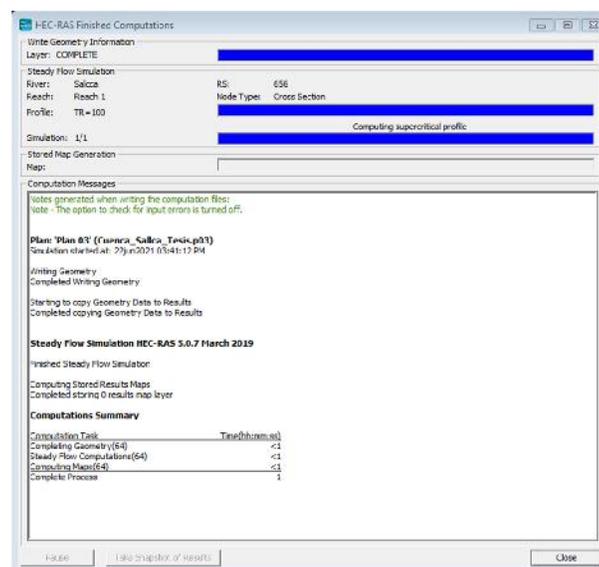


Figura 56: Software HEC RAS, modelo de simulación correctamente generado
Elaboración propia, 2021.

Realizado el estudio de inundación de la cuenca Salcca, se identificó que la cuenca Salcca se inunda en todo su tramo para un caudal máximo de $168.40 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenido

del hidrograma unitario de Clark, dicha inundación obedece a una elevación máxima de 1.00 m, siendo la altura normal que soporta el río 1.50 m, en la figura se puede observar la altura de elevación a través del perfil de elevación, resultado del HEC RAS:

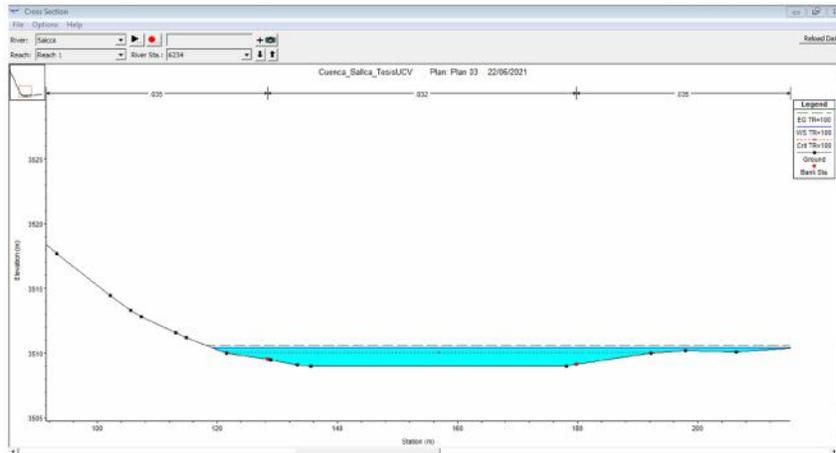


Figura 57: Reporte HEC RAS, perfil de inundación
Elaboración propia, 2021

En función a los resultados obtenidos, se ha realizado un análisis de los tramos inundados, donde se pudo identificar que la mayoría de los tramos pertenecen a zonas de agricultura, ganadería y zonas eriazas, solo se presenta un tramo de inundación en un centro poblado, que vino a ser la zona que presenta mayor peligro de inundación y donde se hace necesarias medidas de mitigación y protección, ante algún evento natural, que ponga en riesgo la infraestructura y vida de las familias que residen en ese espacio. Dicho sector es conocido como Huantura, en donde se ubica la población del mismo nombre, pertenece políticamente al distrito de Combapata, provincia de Sicuani, departamento de Cusco, en la cuenca del río Salcca se ubica muy cercano al desfogue de la cuenca o a la intersección final de la cuenca Salcca y el río Vilcanota, está compuesto por un total de 280 familias, y un total de 84 casas ubicadas muy cerca a la rivera del río.

En la figura 58 y 59, se pueden apreciar los resultados de inundación, del modelo HEC RAS y que el tramo final de la cuenca Salcca es el más comprometido, se tiene:

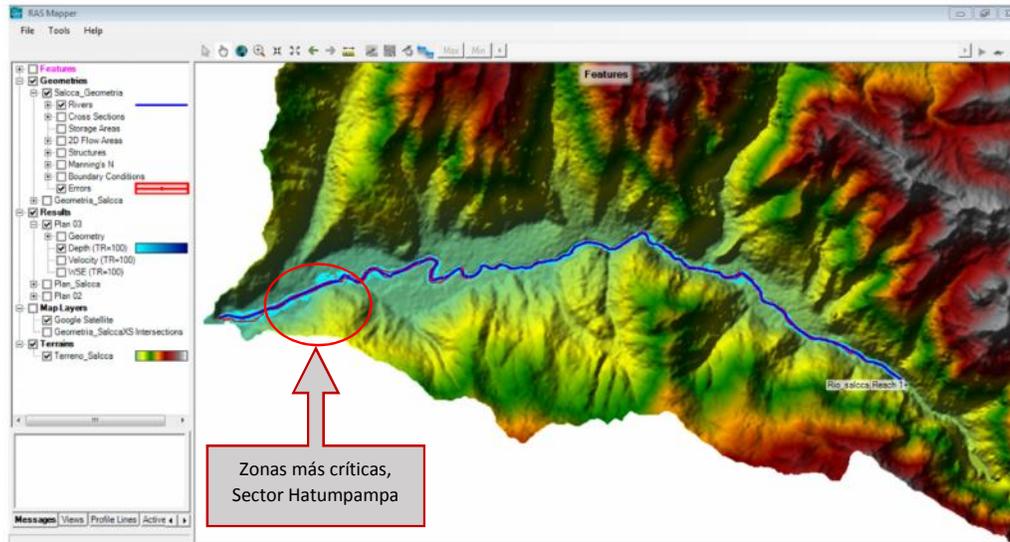


Figura 58: Reporte HEC RAS, resultado de inundación
Elaboración propia, 2021

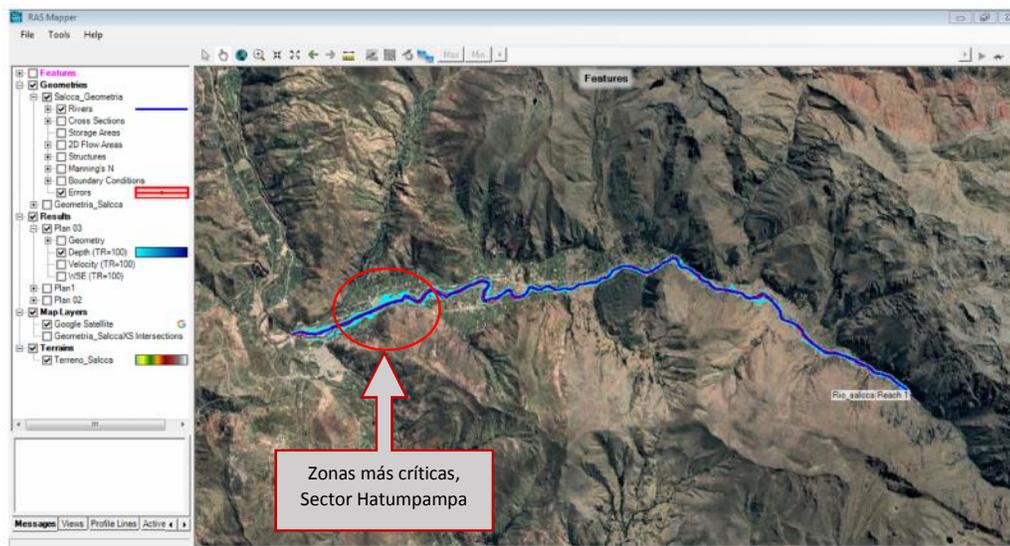


Figura 59: Reporte HEC RAS, resultado de inundación, satelital
Elaboración propia, 2021

A continuación, se presentan propuestas de alternativa para la reducción de los riesgos por inundación, principalmente para los tramos resultantes de inundación y en especial atención para el sector de Huantura:

1. Encausamiento del río Salcca, diques longitudinales, laterales

Se basa en la construcción de muros en la margen derecha del río Salcca en el tramo comprendido del sector Huantura, dichos muros se diseñaron para una altura

mínima de 2.80 metros para contener caudales máximos para un $T = 100$ años, para el presente diseño se usó la aplicación RIVER (Diseño de defensas rivereñas) de la ANA. En la figura 60, se observa la ventana de creación del proyecto para muros en el aplicativo RIVER.



Figura 60: Aplicativo RIVER - ANA, creación del proyecto
Elaboración propia, 2021

En la figura 61, se verifica el resultado del dimensionamiento de muro longitudinal (enrocado) propuesta para la margen derecha del rio Salcca, mediante el aplicativo RIVER – ANA, se tiene una altura de dique de 2.80 m, una altura de enrocado de 2.80 m, altura de uña de 1.80 m, ancho de uña de 2.70m y talud de 1.

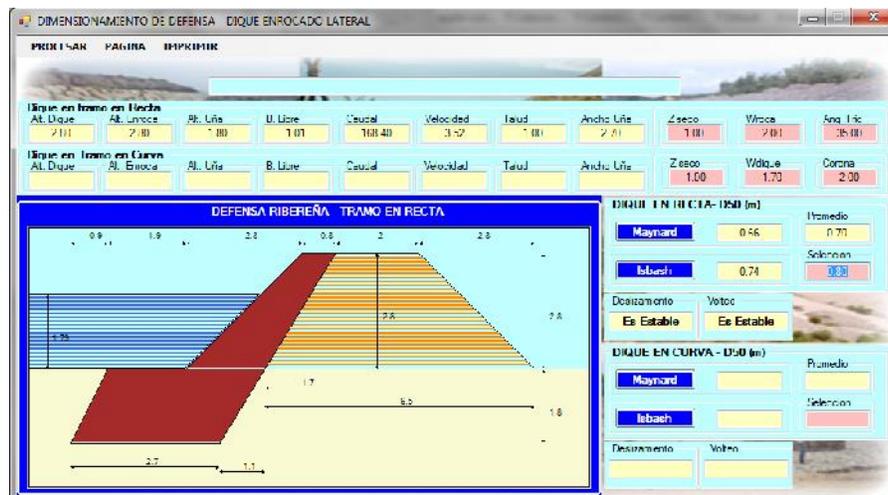


Figura 61: Aplicativo RIVER - ANA, dimensionamiento de muro longitudinal
Elaboración propia, 2021

2. Dragado de sedimentos, descolmatacion

Es una de las principales actividades ante la prevención de riesgos, la descolmatacion y limpieza del rio Salcca (en la parte baja de la cuenca), es la medida o técnica que se viene utilizando para prevenir desbordes desde años anteriores. Este es un procedimiento valido y periódico (anual) para darle mantenimiento al rio, pero aun así no debería considerarse como una medida absoluta frente al problema de la inundación ya que son varios los m³ de material a retirarse. En contraste es común ver que antes del puente Combapata (vía asfaltada Cusco – Sicuani) se observa una gran acumulación de material sedimentario y lo que se recomienda es el manteniendo periódico de este tramo muy importantes para el desfogue de las aguas de la cuenca Salcca, en la figura 62 se observa la acumulación de material sedimentario (contorno azul) antes del puente Combapata.



Figura 62: Acumulación de sedimentos antes del puente Combapata

Elaboración propia, 2021

3. Reforestación de la cuenca alta y media

La escorrentía superficial es uno de los principales elementos que hace que se incremente el agua, pero este factor en gran medida se debe a la cobertura de la cuenca, se sabe muy bien que la deforestación hace que el agua superficial fluya más rápidamente al cauce de los ríos y contrariamente mayor cobertura vegetal

incrementa los niveles de retención de agua. En ese aspecto, se plantea la reforestación forestal con especies nativas y exóticas a fin de reducir la erosión de los suelos e incrementar la infiltración de los mismos, y principalmente en la hidrología se buscaría reducir el número de curvas (CN), que es un parámetro importante que reduciría en gran medida la obtención de los caudales obtenidas por medio de los distintos hidrogramas unitarios.

Es importante realizar una adecuada gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) y ello parte no solo del componente estructural, sino también del social y el ambiental de las cuencas, definiendo los criterios de urbanismo, respetando las fajas marginales, establecer normas de gestión de cuencas y principalmente la articulación de las instituciones del estado como son Gobiernos regionales, provinciales y distritales, ANA, SENAMHI, Instituto de manejo ambiental del Cusco y demás que articulen la prevención de los daños ante efectos de origen natural.

V. DISCUSIÓN

Realizado la descripción de los resultados de investigación, el presente capítulo describe la discusión de las observaciones y los resultados, realizando una breve comparación con los antecedentes de investigación que fueron descritos en el capítulo de marco teórico, se describen estas discusiones en base al orden establecido y planteado de los objetivos, se tienen:

1. Objetivo general, “Determinar que caudales máximos se obtienen, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021”.

Para Arteaga (2017), cuyo **objetivo** general fue: Evaluar el modelo hidrológico HEC HMS para la predicción y crecidas en base a registros históricos en la cuenca del río Cañar; el investigador realiza el estudio en una cuenca con un área de 2246.16 km², donde realizó la determinación de caudales máximos mediante el uso de los hidrogramas unitarios de la SCS, Snyder y Clark, en el modelo hidrológico HEC HMS, con los datos obtenidos se realizó la validación donde el investigador observa que los hidrogramas simulados sobrestiman los caudales observados, obteniéndose eventos buenos e insatisfactorios, con los caudales obtenidos realizó un modelo de inundación indicando que el nivel del agua tendrá un máximo 5.83 m de altura, inundando gran parte de la cuenca en estudio, concluye que los hidrogramas de Snyder y Clark son los más próximos a los caudales máximos esperados y el hidrograma SCS sobreestima mucho los caudales.

De la presente investigación, en base a los resultados se tiene una cuenca con un área de 2331.7 km², se realizó el estudio a nivel de metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, mediante las formulas propias de los parámetros de distribución probabilístico, el uso del modelo hidrológico HEC HMS y el modelo de inundación HEC RAS, se obtuvieron caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Al respecto, se realizó la comparación entre la investigación de Arteaga (2017) y la presente, verificando que ambas contienen coincidencias, respecto a que los modelos hidrológicos en HEC HMS, sobrestiman los caudales y que los hidrogramas de Snyder y Clark son los que mejores resultados arrojan.

2. Objetivo específico 01, “Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas en el río Salcca”.

Para Mamani (2021), cuyo objetivo general fue: Determinar los caudales máximos mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020; El investigador a través del uso de métodos convencionales probabilísticos, utilizo las distribuciones Gamma (Pearson Tipo III), distribución Gumbel y distribución Normal para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, indicando que no existe diferencia estadística significativa y que la distribución Gamma (Pearson Tipo III) obtuvo mejores resultados. Además de ello nos muestra los resultados obtenidos en base a las distribuciones probabilísticas usadas, respecto a los caudales máximos, se tienen: Distribución Gamma (Pearson Tipo III), 224.92 m³/s, 213.01 m³/s y 219.25 m³/s para T = 50, 100 y 200 años respectivamente; Distribución Gumbel, 270.3 m³/s, 293.13 m³/s, 315.89 m³/s para T = 50, 100 y 200 años respectivamente y Distribución Normal 206.16 m³/s, 213.02 m³/s, 219.25 m³/s para T = 50, 100 y 200 años respectivamente.

De la presente investigación, en base a los resultados se obtuvo que: De las metodologías probabilísticas empleadas: Distribución Normal, Distribución Log Normal 3P, Distribución Log Pearson Tipo III, Distribución Gamma 3P y Distribución Valor Tipo I (Gumbel), y realizado las pruebas de bondad, análisis gráfico y validación de resultados, podemos indicar que las distribuciones Log Normal 3P, Distribución Gamma 3P, Distribución Log Pearson Tipo III y Distribución Valor Tipo I (Gumbel) son las que mejor se ajustaron y que entre ellas no existe diferencia estadística significativa a excepción de la Distribución Normal. Además.

Al respecto, se realizó la comparación entre la investigación de Mamani (2021) y la presente, verificando que ambas contienen coincidencias, respecto a que la mayoría de distribuciones probabilísticas empleadas no presentan gran diferencia significativa y que las distribuciones empleadas cumplen con determinar los valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

3. Objetivo específico 02, “Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas en el río Salcca”.

Flores (2020), cuyo objetivo general fue: Generar máximas avenidas de diseño empleando métodos hidrológicos en la sub cuenca del río Torococha - Juliaca; El investigador realiza el estudio hidrológico en el río Torococha haciendo uso de las precipitaciones máximas en 24 horas y que fueron analizadas mediante las distribuciones teóricas Normal, Log-Normal, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, y Gumbel, según el análisis de periodos de retorno se tomó en cuenta 140 años y 500 años, posteriormente se hizo uso de las metodologías hidrológicas mediante la aplicación del software HEC HMS en cuyo contenido se determinó los caudales mediante los métodos de la SCS, método de Snyder y el método de Clark obteniendo avenidas máximas que son descritas en su investigación y que concluyen que de los métodos utilizados en la plataforma del software HEC HMS, el hidrograma unitario de Clark es el más idóneo seguido del hidrograma unitario de Snyder y hidrograma unitario de SCS.

De la presente investigación, en base a los resultados se obtuvo que: Del uso del software HEC HMS y los hidrogramas unitarios empleados Clark, Snyder y SCS, se realizaron un análisis gráfico y validación de resultados, donde podemos indicar que los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder son los que mejor se ajustan estadísticamente y gráficamente, y que el hidrograma de la SCS presenta caudales máximo mayores a los otros dos métodos.

Al respecto, se realizó la comparación entre la investigación de Flores (2020) y la presente, verificando que ambas contienen coincidencias, en cuanto al procedimiento de aplicación y al empleo de los tres hidrogramas unitarios, de los resultados obtenidos el hidrograma de Clark y Snyder son los que pueden ser empleados como caudales máximos, los hidrogramas unitarios en la plataforma del software HEC HMS cumplen con determinar los valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

4. Objetivo específico 03, “Proponer medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo a causa de los caudales máximos resultantes en el río Salcca”.

Garcia e Infante (2018), cuyo objetivo general fue: Determinar el caudal máximo para el diseño de defensas ribereñas en el sector Tamarindo de la margen izquierda del río Tumbes; hace un estudio hidrológico para la determinación de caudales máximos, en donde obtuvo un caudal medio de 1,491 m³/s, realizado la determinación del caudal máximo de diseño aplicando los métodos Gumbel Tipo I se tiene 3,592.7 m³/s y Log Pearson tipo III se tiene 3,975.6 m³/s, realizó el diseño de la defensa ribereña mediante el uso de una sección de dique enrocado y mediante la simulación hidráulica con defensa ribereña, en donde concluye que para los caudales máximos determinados mediante las metodologías estadísticas, se eligió el caudal obtenido por el método de Gumbel Tipo I ya que este presentó un mayor coeficiente de correlación frente al método Log Pearson tipo III, la cual se usó para realizar el modelamiento de la defensa ribereña y que con esta se estima que el área inundable se reduce en un 14.20 %.

De la presente investigación, en base a los resultados se obtuvo que: De la aplicación del software HEC RAS y del estudio de la cuenca Salcca, parte baja de la cuenca, se tiene una inundación a lo largo de la cuenca, dicho diseño de inundación se realizó para un T = 100 años con un caudal máximo de diseño de 168.40 m³/s, en donde se obtuvo que la cuenca se eleva en 1.00 m de altura.

Al respecto, se realizó la comparación entre la investigación de Garcia e Infante (2018) y la presente, verificando que ambas contienen coincidencias, en cuanto a que las cuencas en estudio se inundan con los caudales máximos estudiados.

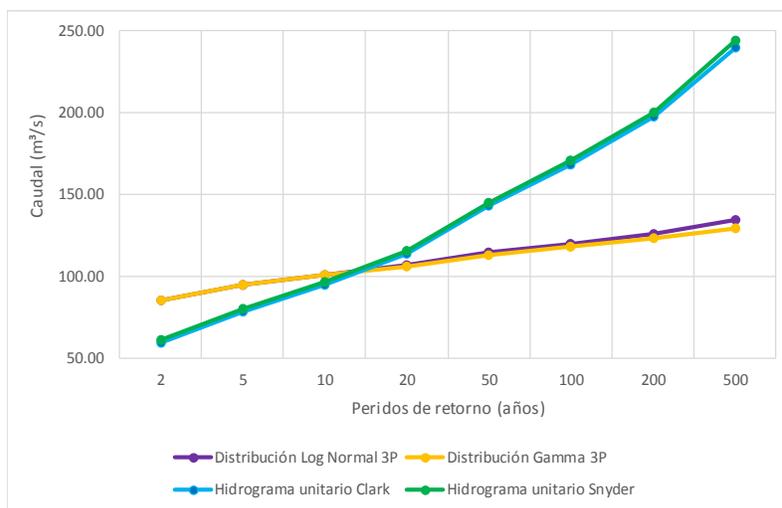
VI. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos y del análisis realizado, se llega a presentar las siguientes conclusiones:

1. Del objetivo general, se concluye que:

Se ha determinado los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, para la cuenca Salcca, provincia de Canchis, región Cusco, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años, dichos caudales pertenecen al presente estudio de investigación correspondientes al año 2021; Se tiene que para los periodos de retorno de 10 y 20 años los caudales obtenidos son similares y que para los periodos de retorno de 2, 5, 50, 100, 200 y 500 años los caudales son distintos, presentando una variación porcentual promedio de 26.35 %, para los caudales obtenidos entre ambas metodologías; En la tabla y grafica se presentan ambas metodologías con los mejores métodos que muestran dicha semejanza y variabilidad de los datos obtenidos.

T= (años)	2	5	10	20	50	100	200	500
Caudal máximo, cuenca Salcca (m ³ /s)								
Metodología probabilística								
Distribución Log Normal 3P	85.45	94.50	100.59	106.49	114.25	120.16	126.17	134.31
Distribución Gamma 3P	85.56	94.83	100.76	106.25	113.10	118.07	122.90	129.13
Metodología hidrometeorologica								
Hidrograma unitario Clark	59.60	78.10	94.90	113.90	142.80	168.40	197.10	240.10
Hidrograma unitario Snyder	60.80	79.70	96.40	115.60	145.20	170.90	200.30	244.50



2. Del Objetivo específico 01, se concluye que:

Se ha determinado los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas en la cuenca Salcca, para los periodos de retorno planteados, se tiene:

Método Probabilístico	T= (años)	2	5	10	20	50	100	200	500
	Probabilidad (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.997	0.998
Caudal máximo, cuenca Salcca (m³/s)									
Distribución Log Normal 3P		85.45	94.50	100.59	106.49	114.25	120.16	126.17	134.31
Distribución Gamma 3P		85.56	94.83	100.76	106.25	113.10	118.07	122.90	129.13
Distribución Log Pearson Tipo III		85.59	94.81	100.84	106.58	114.00	119.58	125.19	132.71
Distribución Valor Tipo I (Gumbel)		85.64	94.67	100.65	106.39	113.82	119.38	124.93	132.24
Distribución Normal		87.32	95.92	100.42	104.13	108.31	111.10	113.65	116.74

De las distribuciones empleadas quienes obtuvieron mejores resultados, son las distribuciones Log Normal 3P y Distribución Gamma 3P, se pueden considerar también las distribuciones Log Pearson Tipo III y Distribución Valor Tipo I (Gumbel), pero la distribución Normal quedaría aislada por no presentar consistencia, se recomienda el uso de los caudales obtenidos por las distribuciones Log Normal 3P y Distribución Gamma 3P.

3. Del Objetivo específico 02, se concluye que:

Se ha determinado los caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas en la cuenca Salcca, para los periodos de retorno planteados, se tiene:

Método Probabilístico	T= (años)	2	5	10	20	50	100	200	500
	Caudal máximo, cuenca Salcca (m³/s)								
Hidrograma unitario Clark		59.60	78.10	94.90	113.90	142.80	168.40	197.10	240.10
Hidrograma unitario Snyder		60.80	79.70	96.40	115.60	145.20	170.90	200.30	244.50
Hidrograma unitario SCS		74.60	98.30	119.40	143.40	180.70	213.40	250.00	304.90

De los hidrogramas unitarios empleados en el software HEC HMS quienes obtuvieron mejores resultados, son los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder, en el caso del hidrograma unitario de la SCS presenta caudales máximos mayores

aislado a los otros métodos empleados, se recomienda el uso de los caudales obtenidos por los hidrogramas de Clark y Snyder.

4. Del Objetivo específico 03, se concluye que:

Se ha propuesto medidas estructurales para los tramos que resultaron en riesgo, empleando los caudales máximos de diseño obtenidos en la presente investigación, el tramo que más resulta en riesgo es el sector denominado como Huantura; Para estos tramos y para la parte baja de la cuenca se propusieron las siguientes medidas: Encausamiento del río Salcca, diques longitudinales, laterales con el aplicativo RIVER – ANA; Dragado de sedimentos, descolmatación y Reforestación de la cuenca alta y media.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de los caudales máximos resultantes, para la cuenca Salcca, como información científica y que pueda ser empleado por estudiantes, profesionales, diseñadores, proyectistas e instituciones del estado o privadas, dicho uso debe ser de las distribuciones probabilísticas que mejor se hayan ajustado estadísticamente y gráficamente.

2. Se recomienda el uso de los caudales máximos resultantes, para la cuenca Salcca, como información científica y que pueda ser empleado por estudiantes, profesionales, diseñadores, proyectistas e instituciones del estado o privadas, dicho uso debe ser de las metodologías hidrometereológicas de los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder y que mejor se han ajustado gráficamente.

3. Las entidades encargadas de la gestión de riesgo en la región de Cusco, deben enfocar sus esfuerzos para difundir mayor información de los peligros naturales a los que se enfrentan (caso inundaciones y erosión de suelos) y buscar reducir la vulnerabilidad del residente de la cuenca Salcca.

4. La estación hidrométrica de Sallca, brinda información muy válida y fiable, debe de continuarse en impulsar y mejorar las condiciones físicas de dicha estación, ya que esta se encuentra en el mismo emplazamiento de la cuenca Salcca y que las entidades estatales como SENAMHI y ANA no discontinúen su funcionamiento, en ningún momento.

5. Se recomienda que las estaciones meteorológicas empleadas se articulen a los nuevos estándares de calidad de la hidrología (automatización), se evidencio que las estaciones empleadas de Sicuani y Pomacanchi se encuentran bastante descuidadas y desprotegidas.

6. Se ha observado el mal uso del suelo, especialmente en la parte alta de la cuenca donde se evidencia la reforestación de la cuenca, específicamente en el sector de Santa Bárbara, se recomienda tomar medidas frente a estos eventos.

7. Las condiciones de cobertura de suelo son cambiantes con el tiempo, se sugiere realizar los mismos estudios para los modelos hidrológicos que fundamentalmente están en funciona a dicho parámetro.

REFERENCIAS

A.L. Kay, A.C. Rudd; M. Fry; G. Nash y S. Allen. Climate change impacts on peak river flows: Combining national-scale hydrological modelling and probabilistic projections. 2020. 15pp. (Fecha de consulta el 11 mayo 2021). Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221209632030053X>

Alencar Siqueira, Vinicius; Viana Sorribas, Mino; Martin Bravo, Juan; Collischonn, Walter; Vieira Lisboa, Auder Machado y Villa Trinidad, Giovanni Gomes. Real-time updating of HEC-RAS model for streamflow forecasting using an optimization algorithm. 2016. 16 pp. (Fecha de consulta el 02 de junio 2021). Disponible en:

<https://www.scielo.br/ij/rbrh/a/PGR54Ty4K3SSky5LrGwW8vR/?lang=en>

Angulo, Mario A. y Saavedra, Oliver C. Hydrological Modeling of Maylanco Basin Using HEC-HMS. 2018. 18 pp. (Fecha de consulta el 22 abril 2021). Disponible en:

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312018000100005&lang=es

Antequera Cochachin, Mirian Roció. Determinación de caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas y estadísticas en la sub cuenca del río Quillcay. Trabajo de Titulación en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2014. 73 pp. (Fecha de consulta el 28 de abril 2021). Disponible en:

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1177>

Arteaga Naranjo, Miguel Oswaldo. Evaluación del Modelo Hidrológico HEC – HMS para la predicción hidrológica y crecidas, en la cuenca baja del río Cañar. Titulación de Magister en Recursos Hídricos en la Escuela Politécnica Nacional de Quito – Ecuador. 2017. 146 pp. (Fecha de consulta el 22 abril 2021). Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18365?mode=full>

Bruck de Moraes, Maria Eugênia; Lorandi, Reinaldo. Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas, Universidade Estadual da Santa Cruz. 2016. 289 pp.

ISBN: 978-85-7455-424-2

By Dennis R. Helsel, Robert M. Hirsch, Karen R. Ryberg, Stacey A. Archfield, and Edward J. Gilroy. Statistical Methods in Water Resources, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 2020. 484 pp.

ISSN 2328-7047 (print); ISSN 2328-7055 (online)

Chetyrina, Anna. Análisis y determinación de las curvas IDF en Navarra, Tesis de investigación en la Universidad Pública de Navarra - España. 2017. 122 pp. (Fecha de consulta en junio del 2021). Disponible en:

<https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/25380>

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). Reglamento de Calificación, Clasificación y Registro de los Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – SINACYT. Resolución de Presidencia N° 215-2018-CONCYTEC-P, 16 de noviembre del 2018. 6pp. Disponible en:

<https://www.gob.pe/institucion/concytec/normas-legales/673232-215-2018-concytec-p>

Correia Mendes, Kevin Matheus; Lima de Oliveira, Aline; Pyrrho de Alcântara, Lucas Ravellys; Araújo Alves, Adriana Thays; Dos Santos Neto, Severino Martins; Paiva Coutinho, Artur; Lima Montenegro, Suzana Maria Gico; Moura Soares, José y Dantas Antonino, Antonio Celso. Probability distribution of heavy rainfall and determination of IDF in the city of Caruaru – PE. 2020. 15pp. (Fecha de consulta el 12 mayo 2021). Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/syR7KbGcYMXSTMxJfK7y9kh/?lang=en>

Da Silva Amorim, Jhones; Junqueira, Rubens; Alves Mantovani, Vanessa; Ribeiro Viola, Marcelo; Rogério de Mello, Carlos y Lopes Bento, Nicole. Streamflow regionalization for the Mortes River Basin upstream from the Funil Hydropower Plant, MG. 2020. 11 pp (Fecha de consulta el 18 de mayo del 2021). Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/GRb8Ny5nhY9mW8T8R3G3jnP/?lang=en&format=pdf>

Díaz Arias, Ubaldo Andrés; Guacaneme Prieto, Daniel Felipe y Alonso Nore, Francy Lorena. Estimación de caudales máximos para el sector hidrológico de la quebrada el diamante, mediante modelación HEC-HMS. Título en la Universidad Católica de Colombia. 2017. 55 pp. (Fecha de consulta el 20 abril 2021).

Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15352>

Duque Sarango, Paola; Patiño, Daysi M. y López, Xavier E. Evaluation of the Hydrological Modeling System HEC-HMS for the Hydrological Simulation of a Tropical Andean Micro-basin. 2019. 12 pp. (Fecha de consulta el 30 abril 2021). Disponible en:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642019000600351&lang=es

Esteban Castro, Jose. Agua e democracia na América Latina, Universidade Estadual da Paraiba. 2016. 428 pp.

ISBN: 978-85-7879-227-5

Farías Pereira, Fabio y Bertacchi Uvo, Cintia. Simulating weather events with a linked atmosphere-hydrology model. 2020. 13 pp. (Fecha de consulta el 01 de junio 2021). Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/VPGMZF4tBRQYgwQ8V5ycQVz/?lang=en>

Fattorelli, Sergio y Fernández, Pedro C. Diseño hidrológico, edición digital. 2011. Segunda edición. 528 pp. Disponible en:

ISBN: 978-987-05-2738-2

<https://marianiztli.files.wordpress.com/2016/06/disenio-hidrologico.pdf>

Flores Palomino, Víctor Raul. Generación de máximas avenidas en la sub cuenca Torococha empleando métodos hidrológicos, para diseño del puente Torococha, Juliaca, Puno, 2020. Tesis de investigación en la Universidad Cesar Vallejo – Perú. 2020. 56 pp. (Fecha de consulta el 22 abril 2021). Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57926>

Garcia Celi, Alex Daniel y Infante Arcaya, Fredy. Determinación del caudal máximo para diseño de defensas rivereñas del sector Tamarindo - Rio Tumbes 2018. Tesis de investigación en la Universidad Nacional de Tumbes. 2018. 65 pp. (Fecha de consulta el 22 abril 2021). Disponible en:

<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/453>

Gutiérrez Caiza, Carlos. Hidrología básica y aplicada, Universidad Politécnica Salesiana. 2014. 371pp.

ISBN: 978-612-9978-10-169-8

Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; y Baptista Lucio, María del Pilar. Metodología de la Investigación, Sexta Edición. 2014. 600 pp.

ISBN: 978-1-4562-2396-0

Law, Michael; Collins, Amy. Getting to know ArcGIS, Fifth Edition, Updated for ArcGIS Desktop. 2018. 856 pp.

ISBN: 978-15-8948-511-2

Mamani Gomez, Jose Antonio. Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020. Tesis de investigación en la Universidad Cesar Vallejo – Perú. 2021. 60 pp. (Fecha de consulta el 24 mayo 2021). Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59788>

Meteored. Inundaciones, uno de los desastres naturales más mortíferos. (Nota informativa). (Fecha de consulta el 02 abril 2021). Disponible en:

<https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/inundacion-problema-en-todo-el-mundo.html>

Ministerio de Agricultura de Perú. Codificación y clasificación de cursos de agua superficiales del Perú, repositorio Autoridad Nacional del Agua. 2011. 76pp. Disponible en:

<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/596>

Ministerio de Agricultura de Perú. Mapa hidrográfico e inventario de fuentes de aguas superficiales en el ámbito del ATDR Sicuani, repositorio Autoridad Nacional del Agua. 2005. 115pp. Disponible en:

<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1969>

Ministerio de Construcción, Saneamiento y Vivienda. Norma Técnica CE. 040 Drenaje Pluvial. Resolución Ministerial N° 126-2021-VIVIENDA, 21 de abril del 2021 51 pp. Disponible en:

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/1881161-126-2021-vivienda>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Resolución directoral N° 20-2011-MTC/14 en Lima, 12 de setiembre del 2011. 209 pp. Disponible en:

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Oñate Paladines, Arianna Yadira. Determinación de caudales extremos mediante modelización hidrológica y análisis de escenarios. Trabajo de Titulación en la Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador. 2017. 74 pp. (Fecha de consulta el 20 abril 2021). Disponible en:

<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/20676>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de practica hidrológicas, Volumen I, Hidrología - De la medición a la información hidrológica. 2011. 330 pp.

Disponible en:

ISBN: 978-92-63-30168-0

http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_II_es.pdf

Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas, Volumen II, Hidrología - Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. 2011. 324 pp. Disponible en:

ISBN: 978-92-63-30168-0

http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_es.pdf

Organización Meteorológica Mundial (OMM). Problemas mundiales relacionados con el agua y respuestas hidrológicas. Boletín N°: Volumen 68 (1). 2019. (Fecha de consulta el 02 abril 2021). Disponible en:

<https://public.wmo.int/es/resources/bulletin/problemas-mundiales-relacionados-con-el-agua-y-respuestas-hidrol%C3%B3gicas>

Ospina Noreña, Jesús Efrén; Domínguez Ramírez, Carlos Alberto; Vega Rodríguez, Emel Enrique; Darghan Contreras, Aquiles Enrique y Rodríguez Molano, Luis Ernesto. Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. 2017. 14 pp. (Fecha de consulta el 18 de mayo del 2021). Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300425>

Salazar Briones, Carlos; Hallack Alegría, Michelle; Mungaray Moctezuma, Alejandro; Lomelí, Marcelo A.; Lopez Lambraño, Alvaro y Salcedo Peredia, Adrián. Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias. 2019. 27 pp. (Fecha de consulta el 03 mayo 2021). Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222018000400048&lang=es

Stella, Juan M. y Anagnostou, Emmanouil N. Modeling the flood response for a sub-tropical urban basin in south Florida. 2018. 15 pp. (Fecha de consulta el 12 mayo 2021). Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200724222018000300128&lang=es

Suárez Aguilar, Zagalo E.; Sepúlveda Delgado, Omaidá; Patarroyo Mesa, Miguel y Canaria Camargo, Luis C. Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. 2019. 14 pp. (Fecha de consulta el 30 abril 2021). Disponible en:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000100193&lang=es

Tiradentes Decina, Thiago Galvão y Boccia Brandão, João Luiz. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. 2016. 11 pp. (Fecha de consulta el 01 de junio 2021).

Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/zJ5MvDthtHkxY7hvFvHCGSc/?lang=pt>

US Army Corps of Engineers. HEC-4 Monthly Streamflow Simulation, User's Manual, Hidrology Engineering Center. 104 pp. (Fecha de consulta mayo 2021).

Disponible en:

[https://www.hec.usace.army.mil/publications/ComputerProgramDocumentation/HEC-4_UsersManual_\(CPD-4\).pdf](https://www.hec.usace.army.mil/publications/ComputerProgramDocumentation/HEC-4_UsersManual_(CPD-4).pdf)

US Army Corps of Engineers. HEC-HMS, User's Manual, Hidrology Engineering Center. 2021. (Fecha de consulta mayo a junio 2021). Disponible en:

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.8>

US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Hidrology Engineering Center. 2021. 705 pp. (Fecha de consulta mayo a junio 2021). Disponible en:

https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HECRAS_6.0_Users_Manual.pdf

Vargas Martínez, Nelson Omar; Loaiza Quintero, Juan Carlos; Acosta Barragán, Juan Camilo; Urrego Zuluaga, Juan Pablo; Plazas Romero, Cristian; Valencia Giraldo, Marinela; Martínez Sarmiento, Oscar; Bernal Quiroga, Fabio. Protocolo de Modelización hidrológica e hidráulica. 2018. 71 pp. ISBN: 978-958-5489-09-7

Vásquez Villanueva, Absalón; Mejía Marcacuzco, Abel; Faustino Manco, Jorge; Teran Adriazola, Ruben; Vásquez Romero, Issaak; Dias Rimarachin, Jorge; Vásquez Romero, Cristian; Castro Abanto, Andrés; Tapia Muñoz, Manuel y Alcántara Ramos, Julio. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2016. 709 pp.

ISBN: 978-612-4147-55-5

ANEXOS

A continuación, se presentan los siguientes anexos de la presente investigación:

Anexo 1 : Matriz de consistencia

Anexo 2 : Matriz de operacionalización de variables

Anexo 3 : Validación y confiabilidad

Anexo 3.1 : Validación de los instrumentos de recolección de datos

Anexo 3.2 : Confiabilidad de resultados obtenidos

Anexo 4 : Cuadro de dosificación / Antecedentes

Anexo 5 : Procedimiento

Anexo 5.1 : Datos meteorológicos, procesados

Anexo 5.2 : Prueba estadística de datos

Anexo 5.3 : Resultados metodologías probabilísticas EASYFIT

Anexo 5.4 : Resultados metodologías hidrometeorológicas HEC HMS

Anexo 5.5 : Resultados tramos en riesgo - propuestas

Anexo 6 : Información de las estaciones meteorológicas

Anexo 6.1 : Carta de presentación

Anexo 6.2 : Respuesta, convenio SENAMHI

Anexo 7 : Turnitin

Anexo 8 : Fotografías

Anexo 9 : Planos

Anexo 10 : Normas y manuales

Anexo 10.1 : Norma Técnica CE. 040 Drenaje Pluvial

Anexo 10.2 : Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC)

Anexo 1 : Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente	- Distribución Gamma 3P - Distribución Normal - Distribución Log Normal 3P - Distribución Log Pearson Tipo III - Distribución Valor Tipo I (Gumbel)	- Escala - Posición - Forma	- Software Easyfit 5.6 - Registro histórico de Caudales
¿Cuántos son los caudales máximos mediante metodologías probabilísticas e hidrometereológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021?	Determinar que caudales máximos se obtienen, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometereológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021	Con la aplicación de metodologías probabilísticas e hidrometereológicas se determinan los caudales máximos, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021	Métodos probabilísticos	- Hidrograma Unitario de Clark - Hidrograma Unitario de Snyder - Hidrograma Unitario de la Soil Conservation Service (SCS)	- Escala - Posición - Forma	- Software HEC HMS - Registro histórico de precipitaciones
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente			
¿Cuánto son los caudales máximos mediante metodologías probabilísticas en el río Salcca?	Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías probabilísticas en el río Salcca.	Mediante la aplicación de metodologías probabilísticas, se obtienen caudales máximos, en el río Salcca.		- Caudales diarios	- Caudal máximo diario - Caudal medio diario - Caudal mínimo diario	- Serie histórica de datos hidrométricos
¿Cuánto son los caudales máximos mediante metodologías hidrometereológicas en el río Salcca?	Determinar los caudales máximos aplicando las metodologías hidrometereológicas en el río Salcca.	Mediante la aplicación de metodologías hidrometereológicas, se obtienen caudales máximos, en el río Salcca.		- Precipitaciones	- Precipitaciones máximas diarias - Precipitaciones medias diarias - Precipitaciones mínimas diarias	- Serie histórica de datos meteorológicos
¿Cuáles son las propuestas de diseño para los tramos susceptibles a inundación aplicando las metodologías probabilísticas e hidrometereológicas en el río Salcca?	Proponer medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo a causa de los caudales máximos resultantes en el río Salcca.	Con los caudales máximos resultantes se proponen medidas estructurales para los tramos que resulten en riesgo en el río Salcca.	Caudales máximos	- Periodos de retorno	- T= 2 años - T= 5 años - T= 10 años - T= 20 años - T= 50 años - T= 100 años - T= 200 años - T= 500 años	- Vida útil de una obra civil - Riesgo de falla admisible
				- Diseño de obras civiles	- Unidad de diseño	- Dimensionamiento de la obra

Anexo 2 : Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Metodología
Independiente	<p>La determinación de caudales pueden ser estimados empleando diversos métodos, se tienen:</p> <p>Los métodos probabilísticos se basan en el análisis de frecuencias que tienen la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos. (MTC, 2011)</p> <p>Los métodos hidrometeorológicos, son aquellos en los que las funciones que relacionan las entradas y las salidas, definen el comportamiento del sistema sin que se tenga en cuenta ley o distribución de probabilidad alguna. (Fatorelli, 2018)</p>	<p>Para la determinación del caudal máximo mediante métodos probabilísticos se realizó mediante el uso del software Easyfit que es utilizado para los cálculos hidrológicos, simplificando los procesos de determinación.</p> <p>Para la determinación del caudal máximo mediante métodos hidrometeorológicos se hizo uso del software HEC HMS, diseñado para simular los procesos hidrológicos, de los sistemas de las cuencas hidrográficas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución Gamma 3P - Distribución Normal - Distribución Log Normal 3P - Distribución Log Pearson Tipo III - Distribución Valor Tipo I (Gumbel) 	<ul style="list-style-type: none"> - Escala - Posición - Forma 	Razón	<u>Tipo</u> Aplicada
			<ul style="list-style-type: none"> - Hidrograma Unitario de Clark - Hidrograma Unitario de Snyder - Hidrograma Unitario de la Soil Conservation Service (SCS) 	<ul style="list-style-type: none"> - Escala - Posición - Forma 	Razón	<u>Nivel</u> Explicativo
Dependiente	<p>El caudal máximo es definido como el volumen máximo de agua por unidad de tiempo (L/s, m³/s) que puede o no sobrepasar la sección y el tirante de una corriente. (Gutiérrez, 2014, cap. 4.3).</p>	<p>Los caudales máximos son obtenidos en función a los periodos de retorno asignados, estos serán expresados en VOLUMEN/TIEMPO y reflejan los resultados obtenidos, siendo estos apropiados y técnicamente obtenidos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caudales diarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal máximo diario - Caudal medio diario - Caudal mínimo diario 	Ordinal	<u>Enfoque</u> Cuantitativo
			<ul style="list-style-type: none"> - Precipitaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitaciones máximas diarias - Precipitaciones medias diarias - Precipitaciones mínimas diarias 	Ordinal	<u>Población</u> Cuenca del río Urubamba Vilcanota
			<ul style="list-style-type: none"> - Periodos de retorno 	<ul style="list-style-type: none"> - T= 2 años - T= 5 años - T= 10 años - T= 20 años - T= 50 años - T= 100 años - T= 200 años - T= 500 años 	Ordinal	<u>Muestra</u> Cuenca del río Salcca
			<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de obras civiles 	<ul style="list-style-type: none"> - Unidad de diseño 	Nominal	<u>Muestreo</u> No probabilístico

Anexo 3 : Validación y confiabilidad

Anexo 3.1 : Validación de los instrumentos de recolección de datos

SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

I. Datos generales

Apellido y Nombre, experto : *ING. CIVIL DANIEL LUPACA JIHUAÑA*

Institución donde labora : *GOBIERNO REGIONAL DEL USCO*

Autor del instrumento : Zela Galiano, Ivan Fritz

Tesis : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021

II. Del Instrumento de investigación científica		Validación De 0 a 1
A. Información general		
Ubicación política	Ubicación hidrográfica	
País : Perú	Vertiente : Atlántico	
Departamento : Cusco	Cuenca nivel 2 : (49) Amazonas	
Provincia : Canchis	Cuenca nivel 3 : (499) Cuenca hidrográfica del río Ucayali	1.00
Distrito (s) : Sicuani, San Pablo, Compañata, Pitumarca, Checacupe y Marangani	Cuenca nivel 4 : (4994) Urubamba – Vilcanota	
	Cuenca nivel 5 : (49949) Vilcanota	
	Cuenca nivel 6 : (499498) Salcca	
	Adm. nacional : AAA – XII Urubamba Vilcanota	
Ubicación geográfica	Adm. local : ALA – Sicuani (Alto Vilcanota)	
Coordenada (X) : Este - 279093.7275	Altitud máxima : 6.069 m.s.n.m.	
Coordenada (Y) : Norte - 8'444,822.4049	Altitud mínima : 3.494 m.s.n.m.	
Datum : WGS 84S		
Zona : 19 L		
B. Metodologías probabilísticas		
Se procede a recolectar información de registros histórico de hidrometría (caudal), de la estación Salcca, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		
Registro histórico : Años		1.00
Caudales máximos : m ³ /s		
Herramienta informática : Easyfit versión 5.6.		
Parámetros probabilísticos : Distribución Gamma 3P, distribución Normal, distribución Log Normal de 3P, distribución Log Pearson Tipo III y distribución Valor Tipo I (Gumbel)		
C. Metodologías hidrometeorológicas		
Se procede a recolectar información de registros histórico de pluviometría (precipitación), de las estaciones de Sicuani, Salcca y Pomacanchi, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		
Registro histórico : Años		0.90
Precipitaciones : mm (milímetros)		
Herramienta informática : HEC HMS versión 4.6		
Parámetros hidrometeorológicos : Hidrograma unitario de Clark, Hidrograma unitario de Snyder y Hidrograma unitario de la Soil Conservation Service (SCS)		
D. Propuesta estructural, medida de riesgo		
Se procede al empleo de los caudales máximos obtenidos de las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		
Superficie : Km ²		0.90
Caudales máximos : m ³ /s		
Herramienta informática : HEC RAS versión 5.0.7		
Estructuras propuestas : Unidad, dimensionamiento		
E. Respuesta hidrológica		
De la modelización hidrológica y procesamiento de la información		
Caudales máximos : Metodologías probabilística e hidrometeorológicas		1.00
Periodos de retorno : T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años		
Propuesta estructural : Tramos que resultaron en riego		

Según Oseda (2011)

0	0.5	1
0.53 a menos	Validez nula	
0.54 a 0.59	Validez baja	
0.60 a 0.65	Valida	
0.66 a 0.71	Muy valida	
0.72 a 0.99	Excelente validez	
1.00 a mas	Validez perfecta	

Puntaje total

0.96

Lima, 14 de junio del 2021.


 Daniel Lupaca Jihuaña
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 126103

INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

I. Datos generales

Apellido y Nombre, experto : **ING. CIVIL DANIEL LUPACA JIHUANA**
 Institución donde labora : **GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO**
 Instrumentos de evaluación : Serie histórica de datos pluviométricos e hidrométricos de las estaciones Sicuani, Salcca y Pomacanchi del SENAMHI.
 Modelos de elevación digital ASTER DEM
 Consistencia estadística y gráfica de las series históricas meteorológicas
 Autor del instrumento : Zela Galiano, Ivan Fritz
 Tesis : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021

II. Aspectos de validación

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

Cráterios	Indicadores	1	2	3	4	5
Claridad	Los ítem están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde a los sujetos muestrales.					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Caudales máximos, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Caudales máximos					X
Organización	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiencia	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					X
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Caudales máximos				X	
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento				X	
Puntaje Total						47 PUNTOS

Nota: Tener en cuenta que el instrumento es valido cuando se tiene un puntaje minimo de 41; sin embargo un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable.

III. Opinión de aplicabilidad

Promedio de Valoración

47

Lima, 14 de junio del 2021.



Daniel Lupaca Jihuaña
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 126193

SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

I. Datos generales
 Apellido y Nombre, número : **ING. CIVIL DANILLO CORRALES VIZCARRA**
 Institución donde labora : **INDEPENDIENTE**
 Autor del instrumento : Zela Gallano, Ivan Fritz
 Tesis : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021

II. Del Instrumento de investigación científica

A. Información general		Validación De 0 a 1
Ubicación política País : Perú Departamento : Cusco Provincia : Canchis Distrito (s) : Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe y Marangani Ubicación geográfica Coordenada (X) : Este - 279093.7275 Coordenada (Y) : Norte - 8'444,822.4049 Datum : WGS 84S Zona : 19 L	Ubicación hidrográfica Vertiente : Atlántico Cuenca nivel 2 : (49) Amazonas Cuenca nivel 3 : (499) Cuenca hidrográfica del río Ucayali Cuenca nivel 4 : (4994) Urubamba – Vilcanota Cuenca nivel 5 : (49949) Vilcanota Cuenca nivel 6 : (499498) Salcca Adm. nacional : AAA – XII Urubamba Vilcanota Adm. local : ALA – Sicuani (Alto Vilcanota) Altitud máxima : 6.069 m.s.n.m. Altitud mínima : 3.494 m.s.n.m.	0.90
B. Metodologías probabilísticas Se procede a recolectar información de registros histórico de hidrometría (caudal), de la estación Salcca, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros. Registro histórico : Años Caudales máximos : m ³ /s Herramienta informática : Easyfit versión 5.6. Parámetros probabilísticos : Distribución Gamma 3P, distribución Normal, distribución Log Normal de 3P, distribución Log Pearson Tipo III y distribución Valor Tipo I (Gumbel)		0.90
C. Metodologías hidrometeorológicas Se procede a recolectar información de registros histórico de pluviometría (precipitación), de las estaciones de Sicuani, Salcca y Pomacanchi, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros. Registro histórico : Años Precipitaciones : mm (milímetros) Herramienta informática : HEC HMS versión 4.6 Parámetros hidrometeorológicos : Hidrograma unitario de Clark, Hidrograma unitario de Snyder y Hidrograma unitario de la Soil Conservation Service (SCS)		1.00
D. Propuesta estructural, medida de riesgo Se procede al empleo de los caudales máximos obtenidos de las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros. Superficie : Km ² Caudales máximos : m ³ /s Herramienta informática : HEC RAS versión 5.0.7 Estructuras propuestas : Unidad, dimensionamiento		0.90
E. Respuesta hidrológica De la modelización hidrológica y procesamiento de la información Caudales máximos : Metodologías probabilística e hidrometeorológicas Periodos de retorno : T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años Propuesta estructural : Tramos que resultaron en riesgo		0.90

Puntaje total **0.92**

Según Oseda (2011)

Según Oseda (2011)	
0	1
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Valida
0.66 a 0.71	Muy valida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.00 a mas	Validez perfecta

Lima, 10 de junio del 2021.


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Danilo Corrales Vizcarra
 INGENIERO CIVIL
 CIP 233515

INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

I. Datos generales

Apellido y Nombre, experto : **ING. CIVIL DANILLO CORRALES VIZCARRA**

Institución donde labora : **INDEPENDIENTE**

Instrumentos de evaluación : Serie histórica de datos pluviométricos e hidrométricos de las estaciones Sicuani, Salcca y Pomacanchi del SENAMHI.
Modelos de elevación digital ASTER DEM
Consistencia estadística y gráfica de las series históricas meteorológicas

Autor del instrumento : Zela Galiano, Ivan Fritz

Tesis : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021

II. Aspectos de validación

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

Indicadores	1	2	3	4	5
Claridad Los ítem están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde a los sujetos muestrales.				X	
Objetividad Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Caudales máximos, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
Actualidad El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Caudales máximos					X
Organización Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiencia Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.				X	
Intencionalidad Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					X
Consistencia La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Caudales máximos					X
Metodología La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
Pertinencia La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento					X
Puntaje Total				48 PUNTOS	

Nota: Tener en cuenta que el instrumento es valido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable.

III. Opinión de aplicabilidad

Promedio de Valoración

48

Lima, 10 de junio del 2021.


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

Ing. Danilo Corrales Vizcarra
 INGENIERO CIVIL
 CIP 233515

INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

I. Datos generales
Apellido y Nombre, experto : Ing. Civil Quispe Gomero, Neils David
Institución donde labora : Experto Independiente en Hidrología, con maestría en Recursos Hídricos y Medio Ambiente
Instrumentos de evaluación : Serie histórica de datos pluviométricos e hidrométricos estaciones de las estaciones Sicuani, Salca y Pomacanchi del SENAMHI.
 Modelos de elevación digital ASTER DEM
 Consistencia estadística y gráfica de las series históricas meteorológicas
Autor del Instrumento : Br Zela Gallano, Ivan Fritz
Tesis : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salca, Canchis, Cusco – 2021

II. Aspectos de validación

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

Criterios	Indicadores	Indicadores				
		1	2	3	4	5
Claridad	Los ítem están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde a los sujetos muestrales.					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Caudales máximos, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y logar inherente a la variable: Caudales máximos					X
Organización	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
Suficiencia	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					X
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Caudales máximos					X
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológica e innovación.					X
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento					X
Puntaje Total						

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

III. Opinión de aplicabilidad

Promedio de Valoración
50



 NEILS DAVID QUISPE GOMERO
 INGENIERO CIVIL

Lima, 15 de junio del 2021.

SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

I. Datos generales
Apellido y Nombre, experto : Ing. Civil Quispe Gomero, Neils David
Institución donde labora : Experto Independiente en Hidrología, con maestría en Recursos Hídricos y Medio Ambiente
Autor del Instrumento : Er Zele Galzón, Ivan Fritz
Título : Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Cancha, Cusco - 2021

II. Del Instrumento de investigación científica

A. Información general		Validación De 0 a 1
Ubicación política		1
País	Ubicación hidrográfica	
Departamento	Variante	
Provincia	Cuenca nivel 2	
Distrito (s)	Cuenca nivel 3	
Ubicación geográfica	Cuenca nivel 4	
Coordenada (X)	Cuenca nivel 5	
Coordenada (Y)	Cuenca nivel 6	
Datum	Adm. nacional	
Zona	Adm. local	
B. Metodologías probabilísticas		1
Se procede a recopilar información de registros histórico de hidrometría (caudal), de la estación Salcca, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		
Registro histórico	Años	0.91
Caudales máximos	m ³ /s	
Herramienta informática	Easyfit versión 5.6	
Parámetros probabilísticos	Distribución Gamma 3P, distribución Normal, distribución Log Normal de 3P, distribución Log Pearson Tipo III y distribución Valor Tipo I (Gumbel)	
C. Metodologías hidrometeorológicas		
Se procede a recopilar información de registros histórico de pluviometría (precipitación), de las estaciones de Siquari, Salcca y Pomañachi, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		0.95
Registro histórico	Años	
Precipitaciones	mm (milímetros)	
Herramienta informática	HEC HMS versión 4.8	
Parámetros hidrometeorológicos		0.98
Hidrograma unitario de Clark, Hidrograma unitario de Snyder y Hidrograma unitario de la Soil Conservation Service (SCS)		
D. Propuesta estructural, medida de riesgo		
Se procede al empleo de los caudales máximos obtenidos de las metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, ubicada dentro del espacio físico de investigación (cuenca Salcca), así mismo el modelo de elevación digital (DEM) - ASTER GDEM, mapas temáticos del IGP, MINAM, MVCS y otros.		
Superficie	Km ²	
Caudales máximos	m ³ /s	
Herramienta informática	HEC HAS versión 5.0.7	
Estructuras propuestas	Unidad, dimensiones	
E. Respuesta hidrológica		0.97
De la modificación hidrológica y procesamiento de la información		
Caudales máximos	Metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas	
Períodos de retorno	T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años	
Propuesta estructural	Tramos que resultaron en riesgo	

Según Oseda (2011)

0	0.5	1
0.53 a menos	Validez más	
0.54 a 0.62	Validez baja	
0.63 a 0.65	Validez	
0.66 a 0.71	Muy Validez	
0.72 a 0.99	Excelente Validez	
1.00 a más	Validez perfecta	

Neils David Quispe Gomero
 NEILS DAVID QUISPE GOMERO
 INGENIERO CIVIL

Puntaje total 0.97

Lima, 15 de junio del 2021.

Anexo 3.2 : Confiabilidad de resultados obtenidos

Se realizó por parte de un especialista en Meteorología e Hidrología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) Zonal XII, a cargo del Ing. Oscar Joseph, Rodríguez Aranzábal quien verifico y reviso los resultados de la presente investigación de tesis, dando su aprobación. El documento remitido se encuentra firmado digitalmente por el usuario de la plataforma SENAMHI.

INFORME SOBRE TESIS DE INVESTIGACION

Asunto : Confiabilidad de resultados (Modelamiento hidrológico)
Presente : Ing. Oscar Joseph, Rodríguez Aranzábal
Analista en Agrometeorología
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SENAMHI Zonal XII
Para : Br. Ivan Fritz Zela Galiano
Universidad Cesar Vallejo
Fecha : Cusco, 02 de julio del 2021

Yo **Ing. Oscar Joseph, Rodríguez Aranzábal**, con CIP N°197599, en mi calidad de Analista en Agrometeorología y especialista en Hidrología en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) Zonal XII, he revisado la tesis de investigación titulada: **"Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021"**. En atención a la solicitud presentada por el Bachiller en Ingeniería Civil Zela Galiano, Ivan Fritz.

A lo cual concluyo:

- Que los datos empleados de precipitación (Lluvia) y caudales (m³/s), son datos de las estaciones meteorológicas de SENAMHI.
- Que las Distribuciones Probabilísticas empleadas para la determinación de caudales máximos y empleo del software EASYFIT, obtienen los caudales esperados y se ajustan a los lineamientos hidrológicos de la cuenca Salcca, región Cusco.
- Que los Hidrogramas Unitarios empleados para la determinación de caudales máximos, mediante metodologías hidrometeorológicas y el empleo del software HEC HMS, resultan en caudales esperados y se ajustan a los lineamientos hidrológicos de la cuenca Salcca, región Cusco.

Eh indico que, verificado la presente tesis de investigación, puedo dar la confiabilidad a la presente investigación de tesis.



Firma Digital
Firmado digitalmente por
RODRIGUEZ ARANZABAL Oscar
Joseph FAU 20131.366028 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.07.2021 08:10:07 -05:00

Anexo 4 : Cuadro de dosificación / Antecedentes

Autor	Titulo (Fuente de investigación)	Año	Análisis geomorfológico o parámetros de cuenca					Determinación de caudal máximo							Inundación (Ha)	
			Área Km ²	Perímetro Km	Pendiente %	Longitud del rio principal Km	Tiempo de concentración (Tc)	Métodos Probabilísticos (m ³ /s)				Métodos Hidrológicos (m ³ /s)				Método Racional Modificado m ³ /s
								Tiempo de Retorno	Normal	Gamma Pearson Tipo III	Gumbel	HEC - HMS m ³ /s SCS	HEC - HMS m ³ /s Snyder	HEC - HMS m ³ /s Clark		
Oñate Paladines, Arianna Yadira	Determinación de caudales extremos mediante modelización hidrológica y análisis de escenarios	2017	121.70	-	-		236,2 min	50 años	-	-	-	1290.0	-	-	-	
								100 años	-	-	-	1670.0	-	-	-	
Diaz Arias, Ubaldo Andres; Guacaneme Prieto, Daniel Felipe y Alonso Nore, Francy Lorena	Estimación de caudales máximo para el sector hidrológico de la quebrada el diamante, mediante modelación HEC-HMS	2017	17.28	29.69	46.76	6.91	37,5 min	100 años	-	-	-	350.4	-	-	436.8	
Arteaga Naranjo, Miguel Oswaldo	Evaluación del Modelo Hidrológico HEC – HMS para la Predicción Hidrológica y Crecidas, en la Cuenca Baja del Rio Cañar	2017	2246.16	423.80	20.47	107.81	-	100 años	-	-	-	2473.7	750.4	838.8	-	Se obtiene un nivel máximo de agua de 5.83 m
Mamani Gomez, Jose Antonio	Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno - 2020	2021	3717.24	359.43	7.73	82.90	-	50 años	206.2	224.9	270.3	-	-	-	-	
								100 años	213.0	241.3	293.1	-	-	-		
								200 años	219.3	257.3	315.9	-	-	-		
Flores Palomino, Víctor Raul	Generación de máximas avenidas en la sub cuenca Torococha empleando métodos hidrológicos, para diseño del puente Torococha, Juliaca, Puno, 2020	2020	31.32	41.14	1.14	13.65	-	140 años	-	-	-	49.8	32.1	34.9	-	
			11.12	27.98	0.16	8.26		500 años	-	-	-	76.6	49.2	53.5		
			18.33	24.38	1.59	9.78										
Garcia Celi, Alex Daniel Infante Arcaya, Fredy	Determinación del caudal máximo para diseño de defensas riverleñas del sector Tamarindo - Rio Tumbes 2018	2018	-	-	-	-	-	50 años	-	3975.6	3592.7	-	-	-	-	Se obtiene un diseño para nivel máximo de agua de 6.00 m, y caudal de diseño de 3000 m ³ /s

Anexo 5 : Procedimiento

Anexo 5.1 : Datos meteorológicos, empleados en la investigación de tesis

Estación Sicuani, Precipitación (Lluvias) máximas de 24 horas - milímetros (mm)

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de datos de precipitación (mm), que fueron procesados a través del programa HEC 04.

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max
1	1996	30.00	34.00	31.00	8.00	5.00	6.00	2.00	19.00	11.00	23.00	19.00	17.00	34.00
2	1997	9.00	12.00	29.00	21.00	6.00	0.00	0.00	0.00	10.00	14.00	39.00	22.00	39.00
3	1998	20.00	27.00	36.00	9.00	2.00	0.00	8.00	0.00	12.00	16.00	12.00	30.00	36.00
4	1999	9.00	20.00	13.00	15.00	2.00	8.00	3.00	0.00	2.00	28.00	32.00	11.00	32.00
5	2000	17.20	22.50	22.30	6.20	4.00	6.00	4.40	1.30	8.30	25.80	8.90	15.30	25.80
6	2001	35.40	18.60	31.60	16.50	10.20	1.20	5.70	4.40	14.80	17.10	14.50	36.00	36.00
7	2002	32.50	27.70	17.20	34.60	16.00	0.00	6.00	3.20	8.20	15.20	16.50	23.10	34.60
8	2003	26.00	12.30	24.80	15.00	6.60	6.60	0.00	6.10	1.20	9.70	9.50	30.40	30.40
9	2004	16.10	34.10	18.50	14.40	2.90	2.70	2.80	5.60	12.00	7.70	14.00	15.60	34.10
10	2005	12.80	44.40	23.50	9.10	4.50	0.00	1.60	0.00	6.20	11.10	18.10	15.00	44.40
11	2006	18.30	23.50	12.10	29.80	3.30	5.30	0.00	8.00	8.30	8.20	19.00	25.20	29.80
12	2007	24.50	12.50	28.80	8.40	1.90	0.00	6.80	0.00	12.50	12.60	20.20	18.60	28.80
13	2008	18.20	22.90	31.30	7.40	6.00	0.70	0.60	0.60	1.60	23.70	9.00	24.70	31.30
14	2009	13.60	15.50	11.90	10.10	5.20	0.00	3.70	0.00	4.80	12.30	18.40	20.00	20.00
15	2010	24.70	20.60	22.30	19.10	2.30	0.00	0.00	5.70	1.60	13.40	23.70	22.70	24.70
16	2011	12.70	11.40	22.80	32.50	12.40	2.90	2.90	1.00	11.00	14.60	6.80	34.10	34.10
17	2012	31.50	31.60	17.50	16.60	0.50	3.20	0.80	0.00	5.50	9.40	15.00	22.40	31.60
18	2013	15.80	25.80	11.20	5.80	6.30	3.50	0.00	7.40	0.90	7.00	13.20	20.70	25.80
19	2014	19.60	23.30	15.90	11.00	3.80	0.00	0.20	5.90	10.00	8.50	5.60	23.30	23.30
20	2015	28.50	20.20	17.90	12.40	3.80	2.40	9.40	5.50	5.50	14.10	19.70	21.00	28.50
21	2016	34.20	32.20	11.00	20.30	2.50	0.00	0.30	3.60	6.70	12.90	21.00	15.70	34.20
22	2017	22.20	27.40	18.00	20.80	14.90	0.00	2.20	12.70	11.30	40.10	28.80	15.70	40.10
23	2018	19.00	35.50	21.10	11.20	2.80	10.00	18.70	10.80	3.00	15.90	28.40	13.60	35.50
24	2019	20.80	19.70	17.00	7.00	6.90	0.00	0.00	0.00	0.50	7.00	32.50	32.70	32.70
25	2020	14.20	32.40	14.60	6.00	9.30	0.10	0.00	0.00	7.50	11.60	12.00	25.80	32.40
N° Datos (N°)		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media (mm)		21.03	24.28	20.81	14.69	5.64	2.34	3.16	4.03	7.06	15.16	18.27	22.06	31.96
Desv. Est. (mm)		7.71	8.46	7.22	8.21	4.06	3.00	4.27	4.84	4.27	7.74	8.59	6.70	5.47
Prec. Max. (mm)		35.40	44.40	36.00	34.60	16.00	10.00	18.70	19.00	14.80	40.10	39.00	36.00	44.40
Prec. Min. (mm)		9.00	11.40	11.00	5.80	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	7.00	5.60	11.00	20.00

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
- Meses del año : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo (Mar), abril (Abr), mayo (May), junio (Jun), julio (Jul), agosto (Ago), setiembre (Set), octubre (Oct), noviembre (Nov), diciembre (Dic).
- Unidad de medida : Milímetros (mm), precipitación (lluvia) registrada en la estación Sicuani - SENAMHI
- Max : Precipitación máxima en mm, registrada de todo los meses de un año.
- N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando de la estación Sicuani - SENAMHI.
- Media (mm) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Desv. Est. (mm) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Max. (mm) : Precipitación máxima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Min. (mm) : Precipitación mínima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Estación Salcca, Precipitación (lluvias) máximas de 24 horas - milímetros (mm)

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de datos de precipitación (mm), que fueron procesados a través del programa HEC 04.

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1	1996	21.0	45.0	22.0	24.0	13.0	3.0	7.0	5.0	11.0	11.0	20.0	35.0	45.00
2	1997	40.0	28.0	27.0	23.0	6.0	12.0	3.0	1.0	11.0	10.0	21.0	25.0	40.00
3	1998	26.0	35.0	29.0	14.0	5.0	1.0	11.0	0.0	4.0	9.0	25.0	40.0	40.00
4	1999	30.0	25.0	11.0	14.0	2.0	22.0	9.0	8.0	7.0	17.0	20.0	32.0	32.00
5	2000	23.1	25.2	16.8	11.0	5.6	12.5	4.5	7.3	9.4	16.5	15.4	28.5	28.50
6	2001	31.9	26.0	37.0	19.2	6.3	3.3	9.2	4.7	7.1	20.5	14.6	24.0	37.00
7	2002	20.9	45.1	28.4	17.9	9.9	0.6	7.5	5.3	17.0	21.0	19.9	34.0	45.10
8	2003	25.9	21.1	21.2	23.7	8.0	8.7	0.0	3.6	5.6	17.7	18.4	19.0	25.90
9	2004	27.7	29.8	16.7	8.8	18.8	4.1	4.4	8.3	10.1	22.8	25.4	27.5	29.80
10	2005	25.8	38.5	23.0	28.1	1.0	9.7	0.0	7.0	6.3	17.0	18.1	27.0	38.50
11	2006	39.4	24.0	18.5	16.0	1.2	6.8	5.4	6.7	3.6	10.9	19.5	27.6	39.40
12	2007	20.6	27.8	20.0	15.9	3.2	4.7	4.5	0.0	12.5	13.6	20.5	27.5	27.80
13	2008	24.3	35.4	16.4	13.6	2.3	9.4	0.9	2.9	9.2	9.0	19.5	39.8	39.80
14	2009	26.8	21.6	14.8	18.0	4.2	0.0	1.6	0.0	4.1	11.1	26.1	21.0	26.80
15	2010	23.1	25.2	16.8	11.0	5.6	12.5	4.5	7.3	9.4	16.5	20.4	21.3	25.20
16	2011	33.3	26.0	37.0	9.0	6.3	3.3	9.2	4.7	7.1	20.5	14.6	28.0	37.00
17	2012	19.6	45.1	28.4	17.9	9.9	0.6	7.5	5.3	17.0	21.0	19.9	32.5	45.10
18	2013	39.4	24.0	18.5	16.0	1.2	0.0	0.0	6.7	3.6	10.9	20.1	19.0	39.40
19	2014	20.6	27.8	20.0	15.9	3.2	4.7	4.5	0.0	12.5	13.6	19.2	27.6	27.80
20	2015	24.3	35.4	16.4	13.6	2.3	9.4	0.9	2.9	9.2	9.0	16.9	25.2	35.40
21	2016	13.1	29.3	10.0	15.0	10.0	0.0	1.2	1.5	13.3	15.4	15.8	27.6	29.30
22	2017	17.8	19.6	8.1	10.2	9.0	0.0	0.6	4.8	3.0	13.2	22.6	27.5	27.50
23	2018	31.9	14.7	6.7	0.0	3.6	9.1	10.9	5.4	14.8	10.5	23.9	39.8	39.80
24	2019	20.9	21.7	18.5	15.4	7.9	1.4	2.0	1.0	1.0	10.7	26.5	35.3	35.30
25	2020	25.9	22.8	16.7	11.8	5.2	0.0	0.3	0.0	7.9	19.9	17.5	34.4	34.40
N° Datos (N°)		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media (mm)		26.13	28.76	19.96	15.32	6.03	5.55	4.38	3.98	8.67	14.73	20.03	29.04	34.87
Desv. Est. (mm)		6.86	8.17	7.81	5.80	4.17	5.56	3.65	2.85	4.33	4.47	3.40	6.13	6.38
Prec. Max. (mm)		40.00	45.10	37.00	28.10	18.80	22.00	11.00	8.30	17.00	22.80	26.50	40.00	45.10
Prec. Min. (mm)		13.10	14.70	6.70	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	14.60	19.00	25.20

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
Meses del año: : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo(Mar), abril(Abr), mayo(May), junio(Jun), julio(Jul), agosto(Ago), setiembre(Set), octubre(Oct), noviembre(Nov), diciembre (Dic).
Unidad de medida : Milímetros (mm), precipitación (lluvia) registrada en la estación Salcca - SENAMHI
Max : Precipitación máxima en mm, registrada de todo los meses de un año.
N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando de la estación Salcca - SENAMHI.
Media (mm) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Desv. Est. (mm) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Prec. Max. (mm) : Precipitación máxima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Prec. Min. (mm) : Precipitación mínima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Estación Pomacanchi, Precipitación (lluvias) máximas de 24 horas - milímetros (mm)

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de datos de precipitación (mm), que fueron procesados a través del programa HEC 04.

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max
1	1996	23.00	28.00	24.00	18.00	7.00	14.00	2.00	10.00	15.00	14.00	13.00	19.00	28.00
2	1997	24.00	19.00	33.00	14.00	3.00	1.00	0.00	1.00	5.00	19.00	20.00	19.00	33.00
3	1998	16.00	36.00	24.00	7.00	2.00	0.00	19.00	2.00	7.00	13.00	35.00	23.00	36.00
4	1999	19.00	31.00	23.00	16.00	4.00	2.00	0.00	3.00	5.00	21.00	14.00	24.00	31.00
5	2000	23.10	25.20	16.80	11.00	5.60	12.50	4.50	7.30	9.40	16.50	15.40	27.50	27.50
6	2001	33.30	26.00	37.00	9.00	6.30	3.30	9.20	4.70	7.10	20.50	14.60	39.80	39.80
7	2002	19.60	45.10	28.40	17.90	9.90	0.60	7.50	5.30	17.00	21.00	19.90	21.00	45.10
8	2003	29.50	21.10	21.20	23.70	8.00	8.70	0.00	3.60	4.10	10.70	18.40	21.30	29.50
9	2004	27.70	29.80	16.70	8.80	18.80	4.10	4.40	8.30	10.10	20.80	12.60	28.00	29.80
10	2005	14.10	28.50	27.50	23.70	2.10	0.00	0.20	3.00	2.60	15.30	19.70	15.20	28.50
11	2006	25.80	38.50	23.00	28.10	1.00	9.70	0.00	7.00	4.30	17.00	18.10	32.50	38.50
12	2007	29.50	23.10	40.10	30.30	9.90	0.00	2.50	0.00	2.20	15.30	27.30	17.50	40.10
13	2008	15.40	22.50	26.30	9.70	6.80	1.80	0.00	2.60	9.90	22.50	10.70	13.10	26.30
14	2009	16.00	18.00	21.20	8.50	2.60	0.00	4.30	0.00	4.80	7.80	32.70	19.10	32.70
15	2010	39.40	14.00	18.50	16.00	1.20	0.00	0.00	6.70	3.60	10.90	18.20	19.00	39.40
16	2011	20.60	17.80	20.00	15.90	3.20	4.70	4.50	4.00	12.50	13.60	18.20	27.60	27.60
17	2012	24.30	35.40	16.40	13.60	2.30	9.40	0.90	2.90	9.20	8.00	16.90	25.20	35.40
18	2013	19.70	24.70	17.10	13.70	5.60	1.00	0.00	8.30	13.90	13.60	24.80	31.80	31.80
19	2014	18.70	32.50	18.20	6.80	2.00	0.00	1.60	2.50	16.50	21.00	10.20	20.80	32.50
20	2015	18.50	30.10	33.30	9.90	3.40	0.00	10.60	6.40	3.50	8.50	22.60	22.00	33.30
21	2016	33.80	28.60	13.30	23.00	3.20	0.00	0.00	2.00	10.50	9.30	10.00	21.00	33.80
22	2017	25.50	28.00	36.00	11.00	7.90	0.60	2.20	10.30	10.40	11.10	13.20	18.80	36.00
23	2018	21.80	31.00	36.00	19.00	6.00	45.00	15.00	10.00	5.40	23.20	16.20	19.30	45.00
24	2019	23.60	21.40	26.00	16.00	4.00	0.00	2.50	1.40	3.60	22.80	37.20	33.40	37.20
25	2020	27.00	24.90	22.00	8.00	6.00	2.50	0.00	0.20	6.70	18.30	29.20	22.20	29.20
N° Datos (N°)		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media (mm)		23.56	27.21	24.76	15.14	5.27	4.84	3.64	4.50	7.97	15.79	19.52	23.24	33.88
Desv. Est. (mm)		6.27	7.10	7.46	6.60	3.82	9.39	5.05	3.26	4.42	5.04	7.64	6.22	5.30
Prec. Max. (mm)		39.40	45.10	40.10	30.30	18.80	45.00	19.00	10.30	17.00	23.20	37.20	39.80	45.10
Prec. Min. (mm)		14.10	14.00	13.30	6.80	1.00	0.00	0.00	0.00	2.20	7.80	10.00	13.10	26.30

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
- Meses del año: : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo (Mar), abril (Abr), mayo (May), junio (Jun), julio (Jul), agosto (Ago), setiembre (Set), octubre (Oct), noviembre (Nov), diciembre (Dic).
- Unidad de medida : Milímetros (mm), precipitación (lluvia) registrada en la estación Pomacanchi - SENAMHI
- Max : Precipitación máxima en mm, registrada de todo los meses de un año.
- N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando de la estación Pomacanchi - SENAMHI.
- Media (mm) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Desv. Est. (mm) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Max. (mm) : Precipitación máxima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Min. (mm) : Precipitación mínima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Cuenca Salcca, Precipitación (lluvias) máximas de 24 horas - milímetros (mm)

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de datos de precipitación (mm), que fueron procesados a través del programa HEC 04, regionalizados.

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max
1	1996	24.49	34.15	25.49	16.61	7.97	8.76	3.30	11.31	12.76	15.83	16.56	22.57	34.15
2	1997	23.76	19.27	30.21	18.38	4.66	3.58	0.78	0.71	8.02	15.15	25.79	21.42	30.21
3	1998	19.76	33.05	28.78	9.40	2.78	0.26	13.66	0.89	7.67	12.81	25.60	29.45	33.05
4	1999	18.92	26.16	16.90	15.16	2.89	8.98	3.23	3.42	4.64	21.97	20.81	22.25	26.16
5	2000	21.34	24.37	18.38	9.58	5.12	10.58	4.46	5.53	9.06	19.19	13.47	24.15	24.37
6	2001	33.49	23.79	35.36	13.85	7.43	2.68	8.16	4.60	9.34	19.47	14.55	34.49	35.36
7	2002	23.68	39.94	25.08	22.76	11.67	0.42	7.05	4.68	14.40	19.27	18.87	24.98	39.94
8	2003	27.49	18.49	22.22	21.12	7.58	8.07	0.00	4.33	3.64	12.22	15.77	23.33	27.49
9	2004	24.26	31.01	17.20	10.42	14.12	3.68	3.92	7.50	10.64	17.46	16.34	24.20	31.01
10	2005	16.76	35.72	25.11	20.54	2.51	2.54	0.56	3.16	4.62	14.49	18.78	18.20	35.72
11	2006	27.12	30.26	18.60	25.39	1.72	7.64	1.41	7.20	5.28	12.80	18.70	29.03	30.26
12	2007	25.66	21.19	31.48	20.08	5.79	1.23	4.28	0.00	7.90	14.04	23.40	20.41	31.48
13	2008	18.52	25.95	25.13	10.03	5.38	3.46	0.41	2.09	7.27	19.29	12.49	23.45	25.95
14	2009	18.10	18.18	16.77	11.44	3.77	0.00	3.41	0.00	4.61	9.97	26.74	19.83	26.74
15	2010	30.78	18.84	19.14	15.57	2.67	3.27	1.18	6.55	4.53	13.08	20.35	20.65	30.78
16	2011	21.58	18.04	25.23	18.93	6.70	3.80	5.25	3.30	10.63	15.67	13.89	29.56	29.56
17	2012	25.14	36.77	19.83	15.58	3.76	5.27	2.59	2.67	10.14	11.80	17.10	26.25	36.77
18	2013	23.68	24.80	15.71	11.97	4.65	1.47	0.00	7.61	7.38	10.94	20.14	25.16	25.16
19	2014	19.43	28.53	17.97	10.40	2.84	1.23	1.95	2.84	13.53	15.38	11.19	23.28	28.53
20	2015	22.91	28.54	24.32	11.58	3.22	3.16	7.70	5.21	5.57	10.26	20.23	22.51	28.54
21	2016	28.45	29.79	11.74	20.08	4.77	0.00	0.40	2.33	10.10	11.93	14.72	21.14	29.79
22	2017	22.48	25.58	23.38	13.64	10.22	0.27	1.78	9.55	8.71	20.11	20.20	20.14	25.58
23	2018	23.59	28.01	23.92	11.72	4.43	25.30	14.99	9.02	7.15	17.71	21.76	22.96	28.01
24	2019	22.04	20.95	21.36	13.18	5.86	0.37	1.63	0.88	2.01	14.98	32.97	33.64	33.64
25	2020	22.92	26.50	18.41	8.40	6.75	1.14	0.08	0.09	7.24	16.73	21.06	26.41	26.50
N° Datos (N°)		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media (mm)		23.45	26.72	22.31	15.03	5.57	4.29	3.69	4.22	7.87	15.30	19.26	24.38	30.19
Desv. Est. (mm)		3.97	6.18	5.52	4.74	3.02	5.38	3.99	3.19	3.14	3.36	5.04	4.15	4.04
Prec. Max. (mm)		33.49	39.94	35.36	25.39	14.12	25.30	14.99	11.31	14.40	21.97	32.97	34.49	39.94
Prec. Min. (mm)		16.76	18.04	11.74	8.40	1.72	0.00	0.00	0.00	2.01	9.97	11.19	18.20	24.37

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
Meses del año: : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo(Mar), abril(Abr), mayo(May), junio(Jun), julio(Jul), agosto(Ago), setiembre(Set), octubre(Oct), noviembre(Nov), diciembre (Dic).
Unidad de medida : Milímetros (mm), precipitación (llovía), regionalizados para la cuenca Salcca.
Max : Precipitación máxima en mm, registrada de todo los meses de un año.
N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando para el estudio de la cuenca Salcca.
Media (mm) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Desv. Est. (mm) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Prec. Max. (mm) : Precipitación máxima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
Prec. Min. (mm) : Precipitación mínima de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Cuenca Salcca – Caudales en Volumen por unidad de tiempo (m³/s), generadas para la presente investigación de tesis

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de caudales máximos (m³/s), que fueron procesados a través de Creager (Modelo matemático).

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max
1	1996	82.28	70.10	61.69	65.26	26.14	14.02	12.91	18.02	18.75	22.19	35.23	48.54	82.28
2	1997	84.32	90.86	92.91	57.04	24.21	13.00	16.56	18.58	21.79	39.33	32.18	38.91	92.91
3	1998	74.88	96.76	88.60	58.59	22.10	12.40	20.11	18.84	20.86	28.40	31.99	47.86	96.76
4	1999	73.75	113.81	112.68	13.22	15.90	12.13	25.80	20.56	24.85	40.98	31.90	46.30	113.81
5	2000	80.66	73.73	68.13	52.51	23.76	13.45	10.66	17.82	19.44	22.42	30.64	44.41	80.66
6	2001	82.97	76.06	69.36	56.34	25.62	12.70	22.93	19.52	20.94	34.44	30.64	39.57	82.97
7	2002	74.04	65.58	57.80	61.84	28.43	13.78	17.48	18.51	21.17	25.68	29.76	38.19	74.04
8	2003	68.14	78.12	70.94	37.07	18.92	12.21	26.72	20.82	25.45	30.76	31.68	38.99	78.12
9	2004	76.18	81.13	67.81	59.11	23.05	12.40	16.03	18.89	22.98	36.75	31.53	50.43	81.13
10	2005	73.81	89.22	75.70	49.09	24.71	12.75	14.57	18.45	19.32	27.97	32.96	44.89	89.22
11	2006	73.50	89.93	74.29	61.13	23.34	13.13	15.27	18.21	21.29	24.78	36.29	50.36	89.93
12	2007	81.25	74.35	66.57	66.12	31.63	14.56	13.37	18.02	19.07	19.29	37.68	50.24	81.25
13	2008	80.08	78.52	64.30	66.26	32.24	15.46	9.87	17.90	21.13	34.79	37.28	50.95	80.08
14	2009	91.31	58.73	51.45	59.96	25.59	13.02	13.44	17.97	18.91	25.28	33.68	46.42	91.31
15	2010	80.33	70.28	60.76	62.58	24.75	13.50	12.88	18.06	18.46	24.60	37.48	48.44	80.33
16	2011	85.62	88.12	89.66	54.71	23.20	12.93	16.09	18.62	21.88	38.66	33.07	38.28	89.66
17	2012	70.54	99.70	88.06	56.31	20.55	12.32	20.88	18.98	21.06	28.15	32.97	48.97	99.70
18	2013	78.23	106.96	102.64	19.28	16.24	11.85	27.15	20.82	25.38	37.87	32.44	46.83	106.96
19	2014	82.37	72.66	66.37	49.91	22.35	13.16	11.81	17.98	19.98	22.68	31.27	45.24	82.37
20	2015	83.97	75.23	67.31	53.61	24.95	12.74	20.20	19.11	20.35	33.39	30.67	39.58	83.97
21	2016	71.88	66.38	57.91	57.51	28.59	13.69	14.98	18.22	20.52	23.77	29.51	38.39	71.88
22	2017	76.52	80.87	79.04	29.50	16.96	11.68	26.51	20.63	24.54	32.45	31.06	47.51	80.87
23	2018	78.98	102.34	91.59	50.74	21.34	12.66	18.89	18.74	18.89	36.23	38.07	38.97	102.34
24	2019	67.78	80.79	63.61	52.26	29.36	13.59	9.67	17.92	20.16	22.54	37.66	49.38	80.79
25	2020	89.60	65.66	56.39	58.59	20.39	12.64	18.35	19.10	22.40	25.77	29.00	39.63	89.60
N° Datos (N°)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media (m ³ /s)	78.52	81.84	73.82	52.34	23.77	13.03	17.32	18.81	21.18	29.57	33.07	44.69	87.32	
Desv. Est. (m ³ /s)	6.16	14.05	15.54	13.68	4.32	0.86	5.34	0.96	2.09	6.43	2.84	4.71	10.22	
Prec. Max. (mm)	91.31	113.81	112.68	66.26	32.24	15.46	27.15	20.82	25.45	40.98	38.07	50.95	113.81	
Prec. Min. (m ³ /s)	67.78	58.73	51.45	13.22	15.90	11.68	9.67	17.82	18.46	19.29	29.00	38.19	71.88	

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
- Meses del año: : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo(Mar), abril(Abr), mayo(May), junio(Jun), julio(Jul), agosto(Ago), setiembre(Set), octubre(Oct), noviembre(Nov), diciembre (Dic).
- Unidad de medida : En m³/s, caudal máximo (flujo de agua) registrada en el desfogue o salida de la cuenca Salcca.
- Max : Caudal máximo en m³/s, registrada de todo los meses de un año.
- N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando para la presente investigación.
- Media (m³/s) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Desv. Est. (m³/s) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Max. (m³/s) : Caudales máximos de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Min. (m³/s) : Caudales mínimos de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Estación Salcca – Caudales en Volumen por unidad de tiempo (m³/s)

En la siguiente tabla se muestran la serie histórica de caudales máximos (m³/s), que fueron procesados a través del programa HEC 04.

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1	1996	77.63	66.14	58.20	61.57	24.66	13.23	12.18	17.00	17.69	20.94	33.24	45.80	77.63
2	1997	79.56	85.73	87.66	53.82	22.84	12.27	15.62	17.53	20.56	37.11	30.36	36.71	87.66
3	1998	70.65	91.29	83.59	55.28	20.85	11.70	18.97	17.78	19.68	26.80	30.18	45.16	91.29
4	1999	69.58	107.38	106.31	12.47	15.00	11.44	24.34	19.40	23.45	38.66	30.10	43.68	107.38
5	2000	76.10	69.56	64.28	49.54	22.42	12.69	10.06	16.81	18.34	21.15	28.91	41.90	76.10
6	2001	78.28	71.76	65.44	53.16	24.17	11.98	21.63	18.42	19.76	32.49	28.91	37.33	78.28
7	2002	69.86	61.87	54.53	58.35	26.82	13.00	16.49	17.46	19.97	24.23	28.08	36.03	69.86
8	2003	64.29	73.71	66.93	34.98	17.85	11.52	25.21	19.64	24.01	29.02	29.89	36.79	73.71
9	2004	71.88	76.55	63.98	55.77	21.75	11.70	15.12	17.82	21.68	34.67	29.75	47.58	76.55
10	2005	69.64	84.18	71.42	46.32	23.31	12.03	13.75	17.41	18.23	26.39	31.10	42.35	84.18
11	2006	69.35	84.85	70.09	57.68	22.02	12.39	14.41	17.18	20.09	23.38	34.24	47.51	84.85
12	2007	76.66	70.15	62.81	62.38	29.84	13.74	12.61	17.00	17.99	18.20	35.55	47.40	76.66
13	2008	75.56	74.08	60.67	62.52	30.42	14.59	9.31	16.89	19.94	32.82	35.17	48.07	75.56
14	2009	86.15	55.41	48.54	56.57	24.14	12.28	12.68	16.95	17.84	23.85	31.78	43.80	86.15
15	2010	75.79	66.31	57.33	59.04	23.35	12.74	12.15	17.04	17.42	23.21	35.36	45.70	75.79
16	2011	80.78	83.14	84.59	51.62	21.89	12.20	15.18	17.57	20.64	36.48	31.20	36.12	84.59
17	2012	66.55	94.07	83.08	53.13	19.39	11.62	19.70	17.91	19.87	26.56	31.11	46.20	94.07
18	2013	73.81	100.92	96.84	18.19	15.32	11.18	25.62	19.64	23.95	35.73	30.61	44.18	100.92
19	2014	77.72	68.55	62.62	47.09	21.09	12.42	11.14	16.96	18.85	21.40	29.50	42.68	77.72
20	2015	79.23	70.98	63.51	50.58	23.54	12.02	19.06	18.03	19.20	31.50	28.94	37.34	79.23
21	2016	67.82	62.63	54.64	54.26	26.97	12.92	14.13	17.19	19.36	22.43	27.84	36.22	67.82
22	2017	72.19	76.30	74.58	27.84	16.00	11.02	25.01	19.46	23.15	30.62	29.31	44.83	76.30
23	2018	74.52	96.56	86.41	47.87	20.13	11.95	17.82	17.68	17.82	34.19	35.92	36.77	96.56
24	2019	63.95	76.23	60.01	49.31	27.70	12.82	9.12	16.91	19.02	21.27	35.53	46.59	76.23
25	2020	84.54	61.95	53.20	55.28	19.24	11.93	17.32	18.02	21.13	24.32	27.36	37.39	84.54
N° Datos		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media		74.08	77.21	69.65	49.38	22.43	12.30	16.35	17.75	19.99	27.90	31.20	42.16	82.38
Desv. Estándar		5.81	13.26	14.66	12.91	4.07	0.81	5.04	0.90	1.97	6.06	2.68	4.44	9.64
Caudal Max.		86.15	107.38	106.31	62.52	30.42	14.59	25.62	19.64	24.01	38.66	35.92	48.07	107.38
Caudal Min.		63.95	55.41	48.54	12.47	15.00	11.02	9.12	16.81	17.42	18.20	27.36	36.03	67.82

Donde:

- Año : Intervalo de tiempo empleado desde el año 1996 al año 2020.
- Meses del año: : Enero (Ene), febrero (Feb), marzo(Mar), abril(Abr), mayo(May), junio(Jun), julio(Jul), agosto(Ago), setiembre(Set), octubre(Oct), noviembre(Nov), diciembre (Dic).
- Unidad de medida : En m³/s, caudal máximo (flujo de agua) registrada en la estación de Salcca – SENAMHI.
- Max : Caudal máximo en m³/s, registrada de todo los meses de un año.
- N° Datos (N°) : Número de años que se están empleando de la estación Salcca - SENAMHI.
- Media (m³/s) : Estadística, promedio de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Desv. Est. (m³/s) : Estadística, Desviación estándar de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Max. (m³/s) : Caudales máximos de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.
- Prec. Min. (m³/s) : Caudales mínimos de todo el intervalo de años que se emplea en función a un mes del año.

Anexo 5.2 : Prueba estadística de datos meteorológicos empleados

En los siguientes cuadros se observan las pruebas estadísticas realizadas a la serie histórica de datos empleados para la presente investigación de tesis:

Tratamiento de datos estación Sicuani		Tratamiento de datos estación Salcca	
Análisis Estadístico - Precipitación		Análisis Estadístico - Precipitación	
Consistencia de la media		Consistencia de la media	
Tamaño de la muestra (n)	300	Tamaño de la muestra (n)	300
n_1	n_2	n_1	n_2
48	252	180	120
Calculo de la Media		Calculo de la Media	
X1	X2	X1	X2
14.21	13.02	15.90	14.19
Calculo de la desviación estándar		Calculo de la desviación estándar	
S1	S2	S1	S2
11.17	10.02	10.58	10.71
Desviación estándar ponderado		Desviación estándar ponderado	
10.2062		10.6308	
Desviación de las diferencias de los promedios		Desviación de las diferencias de los promedios	
1.6073		1.2529	
Calculo del Tc		Calculo del Tc	
0.7377		1.3646	
Calculo del "T", Tabular Tt	2.056	Calculo del "T", Tabular Tt	2.056
Calculo del n	298	Calculo del n	298
Nivel de significancia	0.025	Nivel de significancia	0.025
Comparación del Tc con el Tt	NO CORREGIR	Comparación del Tc con el Tt	NO CORREGIR
Consistencia de la desviación estándar		Consistencia de la desviación estándar	
S_1^2	S_2^2	S_1^2	S_2^2
124.76	100.31	111.84	114.78
Calculo de "F", Calculado FC		Calculo de "F", Calculado FC	
Comparación de la desviación estándar		Comparación de la desviación estándar	
$S_1^2 > S_2^2$	$S_2^2 > S_1^2$	$S_1^2 > S_2^2$	$S_2^2 > S_1^2$
Usar	No usar	No usar	Usar
1.2438		0.9744	
G.N.L.	251	G.N.L.	119
G.L.D.	47	G.L.D.	179
Calculo de "F", Tabular Ft	2.49	Calculo de "F", Tabular Ft	2.49
Comparación del Fc con el Ft	NO CORREGIR	Comparación del Fc con el Ft	NO CORREGIR

De la siguiente tabla se puede observar que los datos empleados de precipitación (lluvias) para las estaciones meteorológicas de Sicuani y Salcca presentan consistencia en la media y en la desviación estándar, recomendándose su empleo en la presente investigación.

Tratamiento de datos estación Pomacanchi		Tratamiento de datos estación Salcca	
Análisis Estadístico - Precipitación		Análisis Estadístico - Caudales	
Consistencia de la media		Consistencia de la media	
Tamaño de la muestra (n)	300	Tamaño de la muestra (n)	300
n₁	n₂	n₁	n₂
60	240	180	120
Calculo de la Media		Calculo de la Media	
X1	X2	X1	X2
15.65	14.36	40.72	40.58
Calculo de la desviación estándar		Calculo de la desviación estándar	
S1	S2	S1	S2
10.72	10.57	25.26	25.93
Desviación estándar ponderado		Desviación estándar ponderado	
10.6009		25.5297	
Desviación de las diferencias de los promedios		Desviación de las diferencias de los promedios	
1.5301		3.0087	
Calculo del Tc		Calculo del Tc	
0.8401		0.0465	
Calculo del "T", Tabular Tt	2.056	Calculo del "T", Tabular Tt	2.056
Calculo del n	298	Calculo del n	298
Nivel de significancia	0.025	Nivel de significancia	0.025
Comparación del Tc con el Tt	NO CORREGIR	Comparación del Tc con el Tt	NO CORREGIR
Consistencia de la desviación estándar		Consistencia de la desviación estándar	
S ₁ ²	S ₂ ²	S ₁ ²	S ₂ ²
114.82	111.78	638.07	672.36
Calculo de "F", Calculado FC		Calculo de "F", Calculado FC	
Comparación de la desviación estándar		Comparación de la desviación estándar	
S ₁ ² > S ₂ ²	S ₂ ² > S ₁ ²	S ₁ ² > S ₂ ²	S ₂ ² > S ₁ ²
Usar	No usar	No usar	Usar
1.0272		0.9490	
G.N.L.	239	G.N.L.	119
G.L.D.	59	G.L.D.	179
Calculo de "F", Tabular Ft	2.49	Calculo de "F", Tabular Ft	2.49
Comparación del Fc con el Ft	NO CORREGIR	Comparación del Fc con el Ft	NO CORREGIR

De la siguiente tabla se puede observar que los datos empleados de precipitación (lluvias) y caudales para las estaciones meteorológicas de Pomacanchi y Salcca presentan consistencia en la media y en la desviación estándar, recomendándose su empleo en la presente investigación.

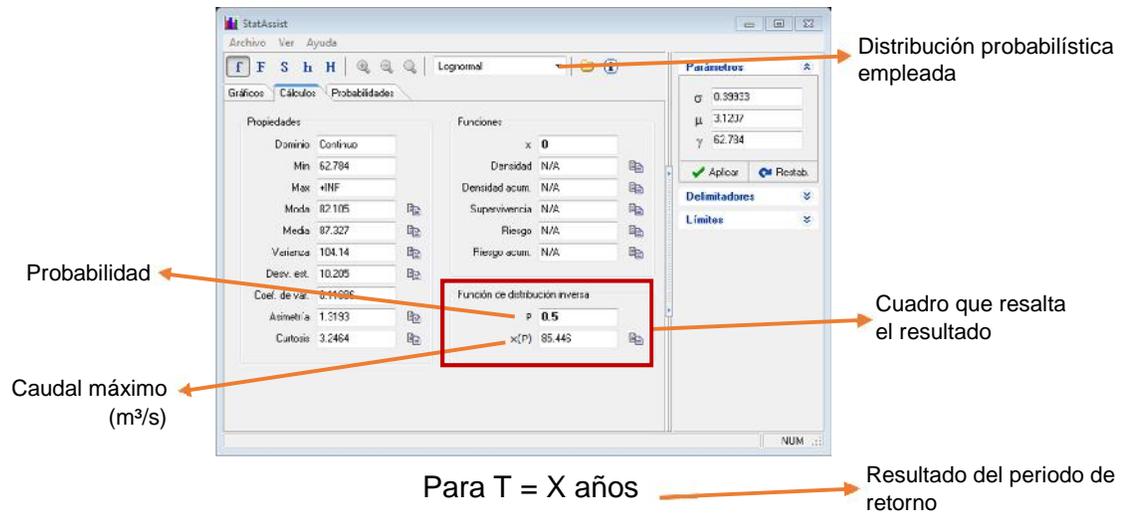
Anexo 5.3 : Resultados metodologías probabilísticas EASYFIT

En los siguientes gráficos se muestran recortes de pantalla de los resultados obtenidos del software EASYFIT, empleados para determinar los caudales máximos mediante metodologías probabilísticas, se tiene:

1. Resultados de la Distribución Log Normal 3P
2. Resultados de la Distribución Gamma 3P
3. Resultados de la Distribución Log Pearson Tipo III
4. Resultados de la Distribución Valor Tipo I (Gumbel)
5. Resultados de la Distribución Normal

Dicho recorte de pantalla tiene como principal característica la probabilidad de diseño, que no es otra más que el periodo de retorno, que se puede apreciar en la siguiente tabla:

Periodo de Retorno T= (años)	2	5	10	20	50	100	200	500
Probabilidad (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.997	0.998



Donde:

P : Probabilidad de diseño, en función al periodo de retorno

x (P) : Caudal máximo obtenido para un periodo de retorno dado

T : Periodo de retorno para 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años

1. Distribución Log Normal 3P

The first screenshot shows the StatAssist interface for a Lognormal distribution. The parameters are: $\sigma = 0.39933$, $\mu = 3.1207$, and $\gamma = 62.784$. The inverse distribution function is set to $P = 0.5$, resulting in $x(P) = 85.446$. The second screenshot shows the same interface with $P = 0.8$, resulting in $x(P) = 94.499$.

Para T = 2 años

Para T = 5 años

The third screenshot shows the StatAssist interface with $P = 0.9$, resulting in $x(P) = 100.59$. The fourth screenshot shows the same interface with $P = 0.95$, resulting in $x(P) = 106.49$.

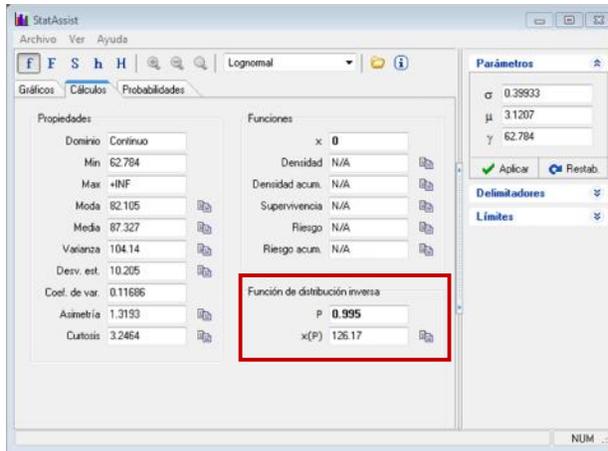
Para T = 10 años

Para T = 20 años

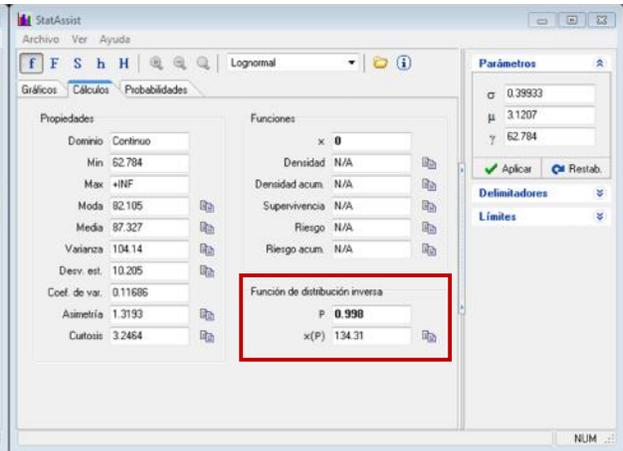
The fifth screenshot shows the StatAssist interface with $P = 0.98$, resulting in $x(P) = 114.25$. The sixth screenshot shows the same interface with $P = 0.99$, resulting in $x(P) = 120.16$.

Para T = 50 años

Para T = 100 años

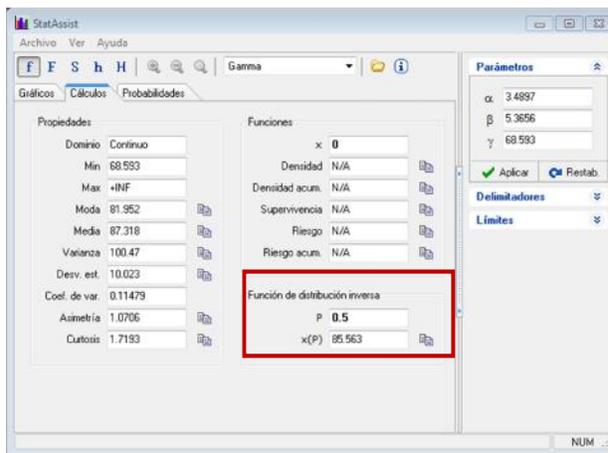


Para T = 200 años

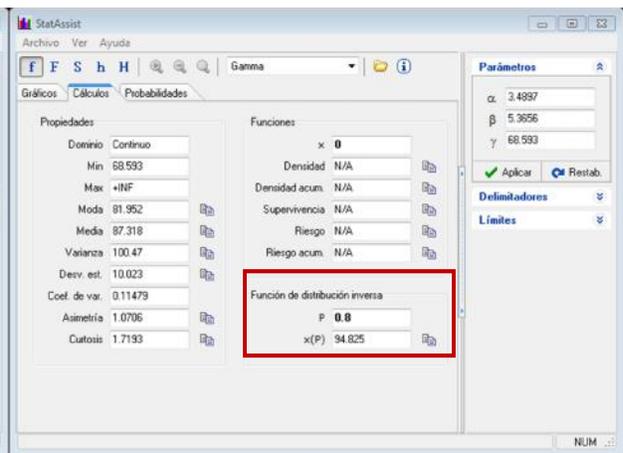


Para T = 500 años

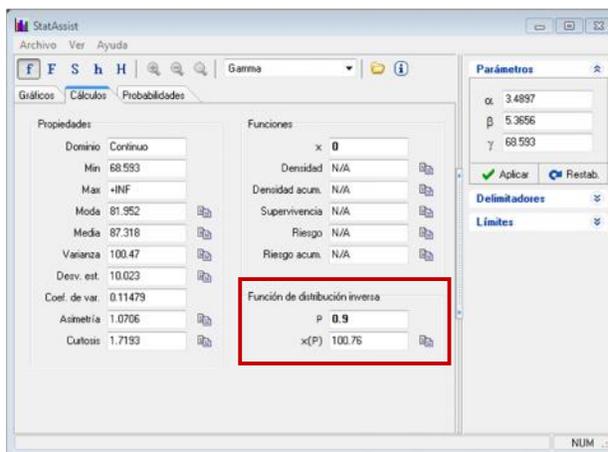
2. Distribución Gamma 3P



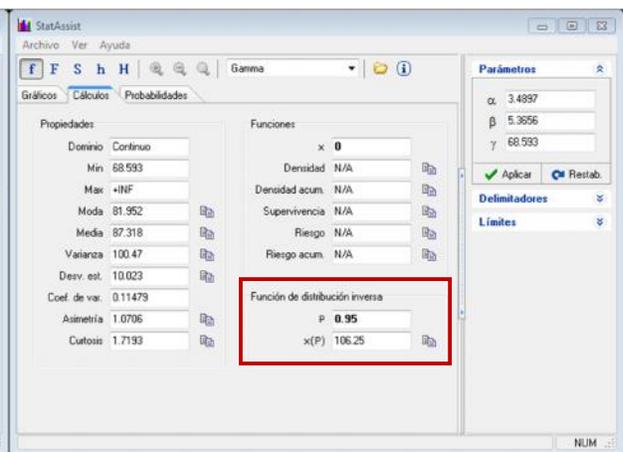
Para T = 2 años



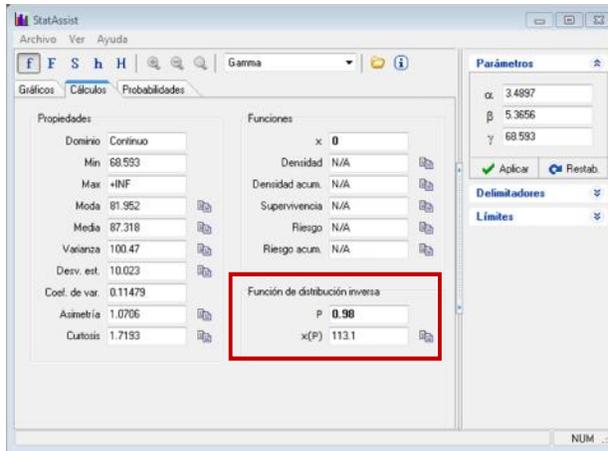
Para T = 5 años



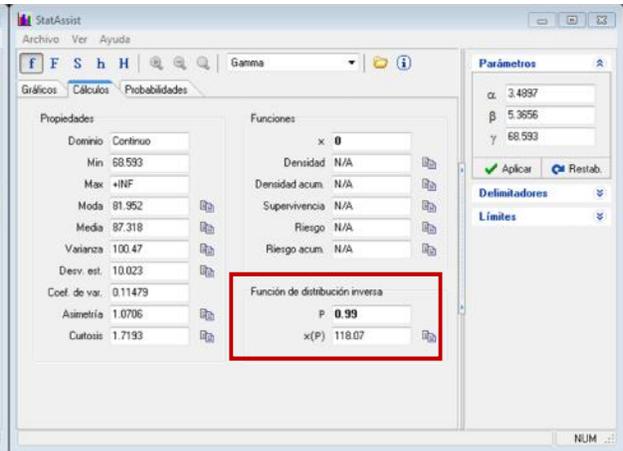
Para T = 10 años



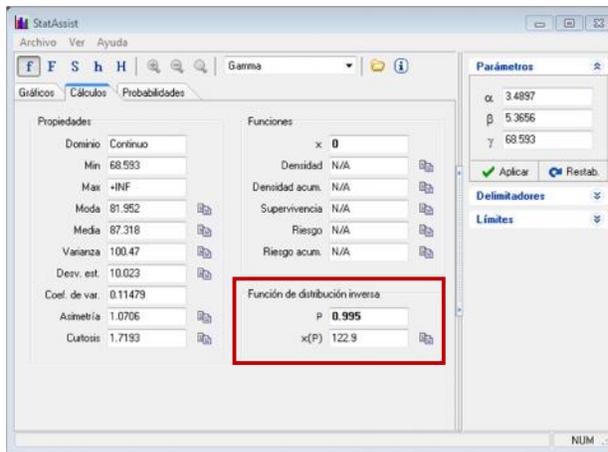
Para T = 20 años



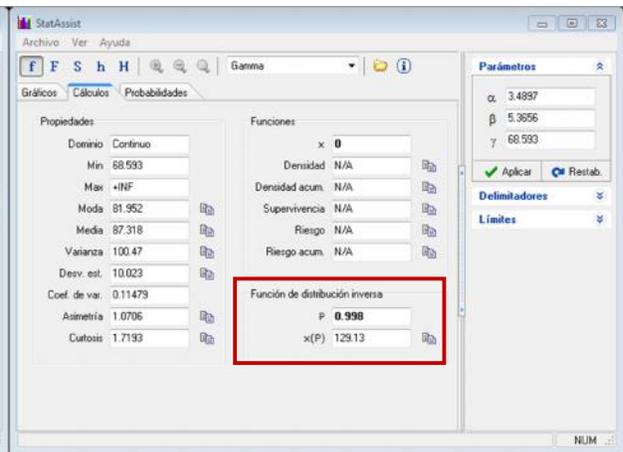
Para T = 50 años



Para T = 100 años

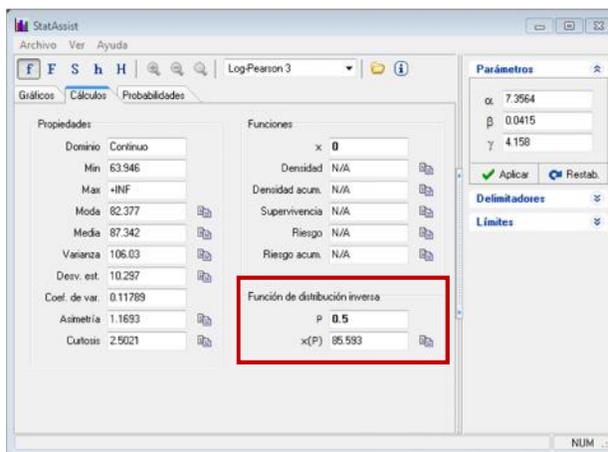


Para T = 200 años

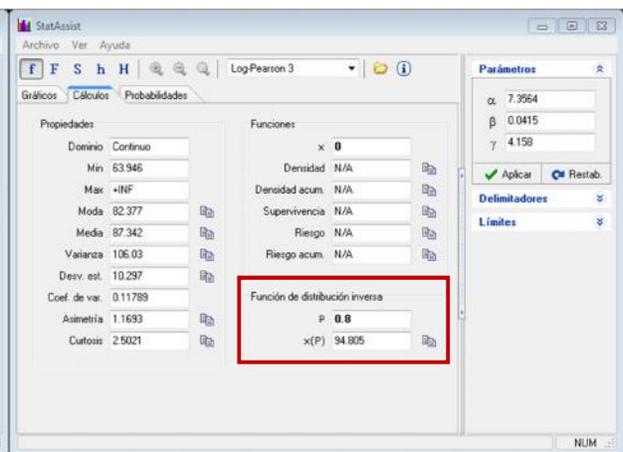


Para T = 500 años

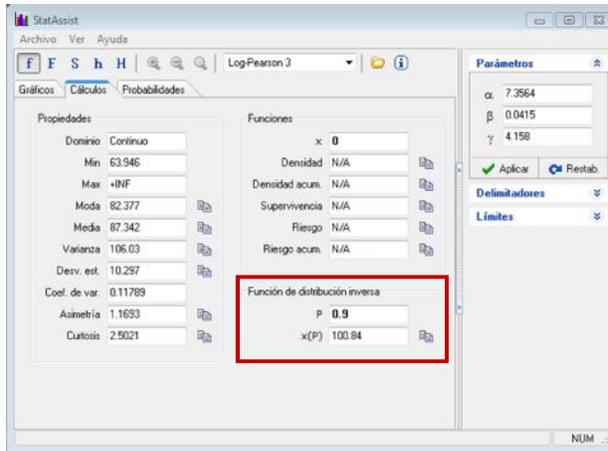
3. Distribución Log Pearson Tipo III



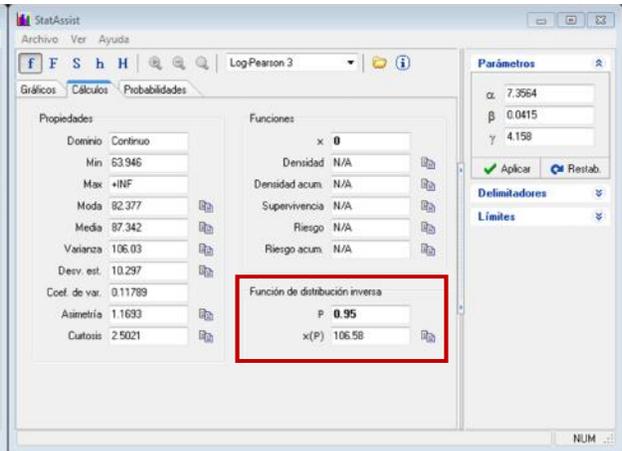
Para T = 2 años



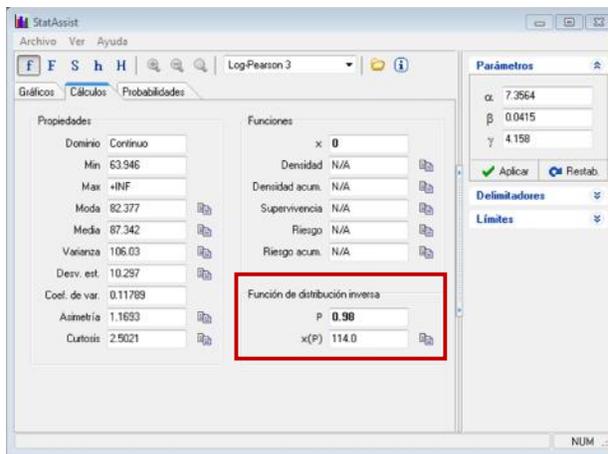
Para T = 5 años



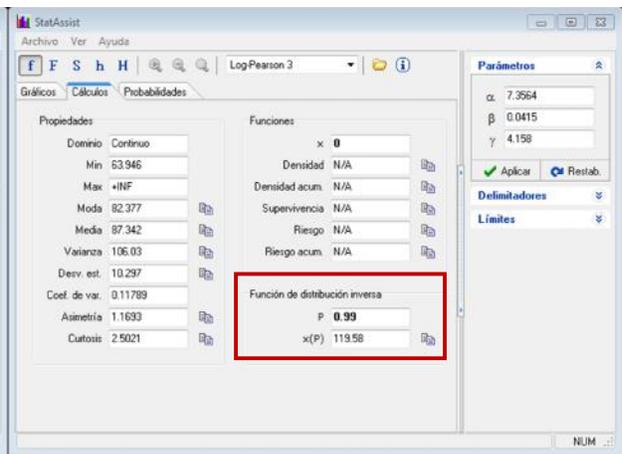
Para T = 10 años



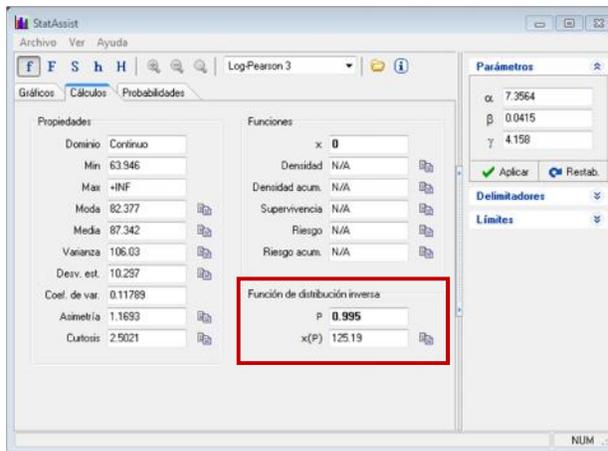
Para T = 20 años



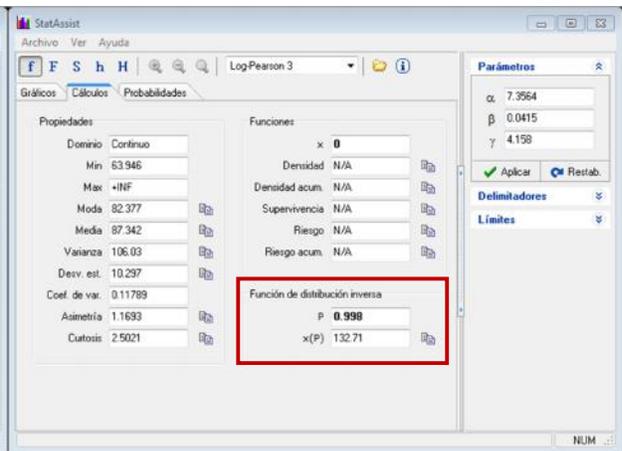
Para T = 50 años



Para T = 100 años



Para T = 200 años



Para T = 500 años

4. Distribución Valor Tipo I (Gumbel)

The first screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 2 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.5$ and $x(P) = 95.638$.

The second screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 5 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.8$ and $x(P) = 94.672$.

Para T = 2 años

Para T = 5 años

The third screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 10 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.9$ and $x(P) = 100.65$.

The fourth screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 20 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.95$ and $x(P) = 106.39$.

Para T = 10 años

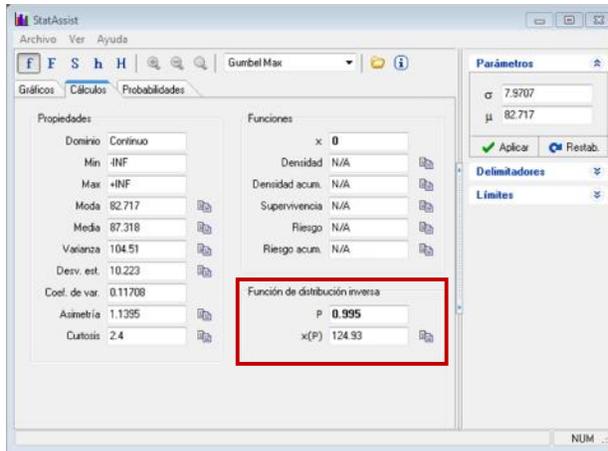
Para T = 20 años

The fifth screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 50 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.98$ and $x(P) = 113.82$.

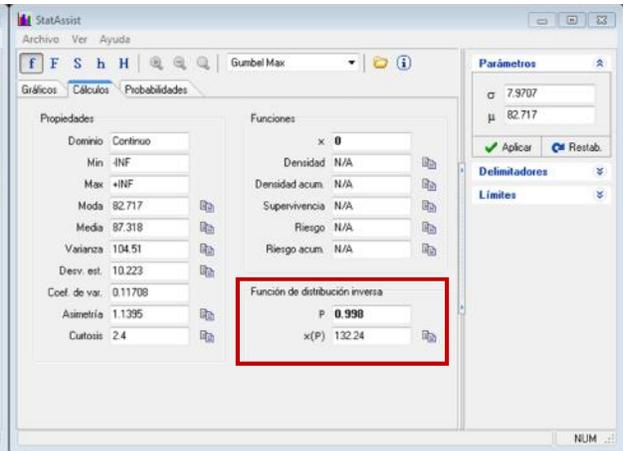
The sixth screenshot shows the Gumbel distribution parameters for T = 100 años. The parameters are $\sigma = 7.9707$ and $\mu = 82.717$. The inverse distribution function is shown with $P = 0.99$ and $x(P) = 119.38$.

Para T = 50 años

Para T = 100 años

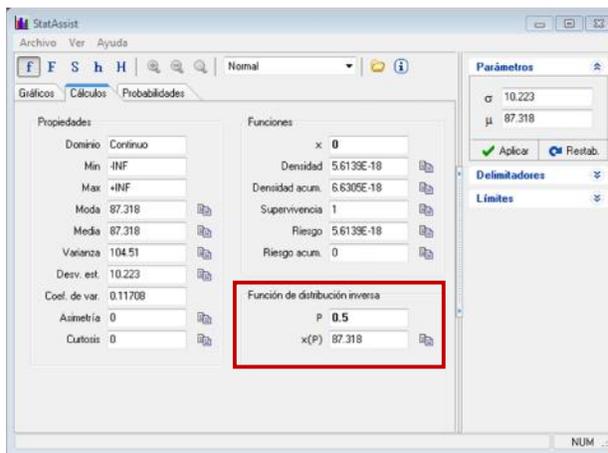


Para T = 200 años

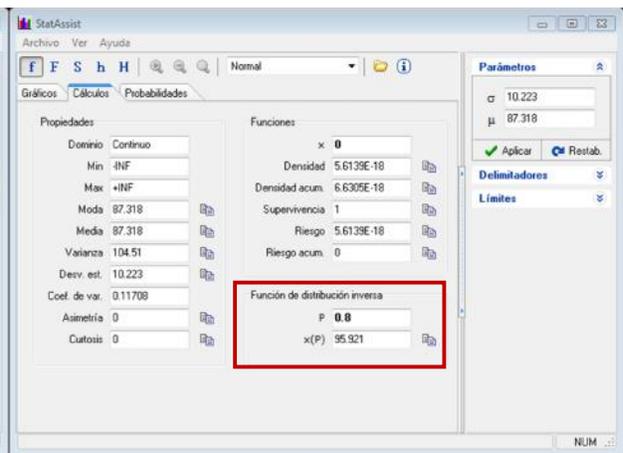


Para T = 500 años

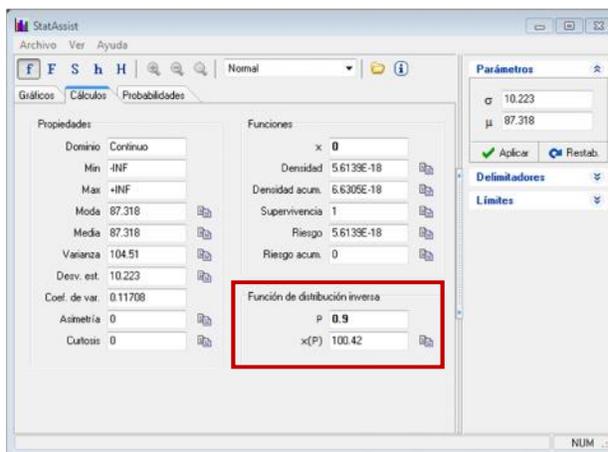
5. Distribución Normal



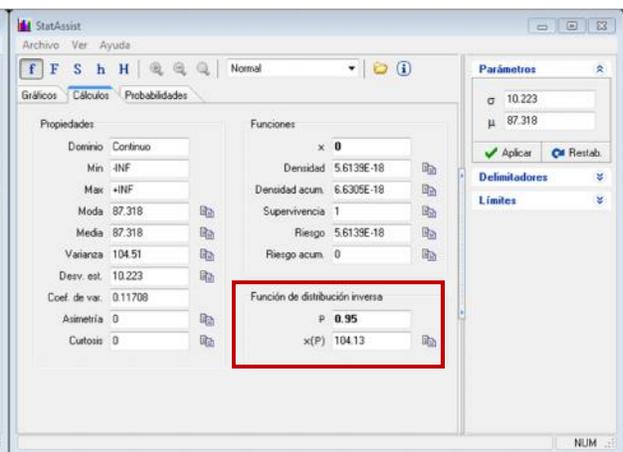
Para T = 2 años



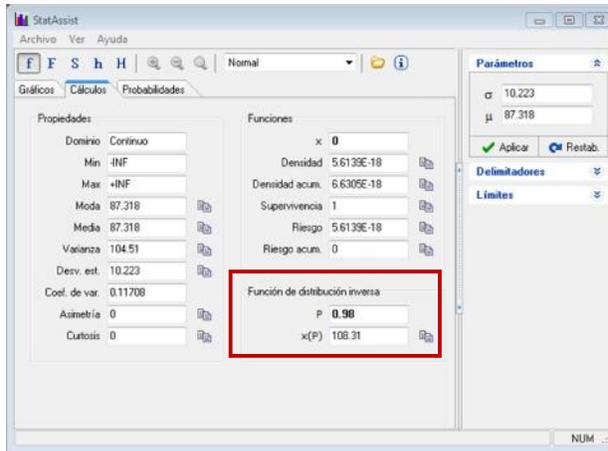
Para T = 5 años



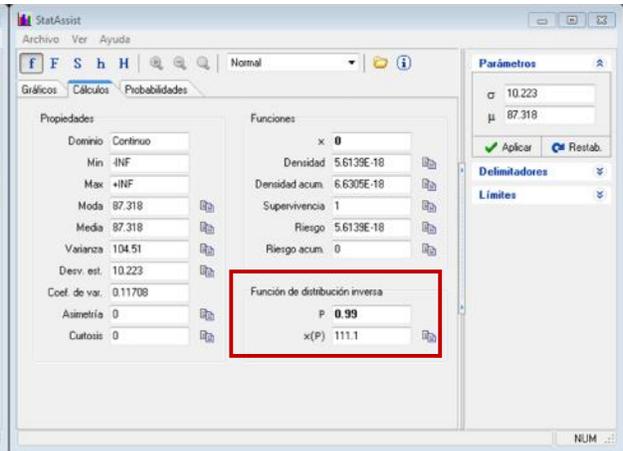
Para T = 10 años



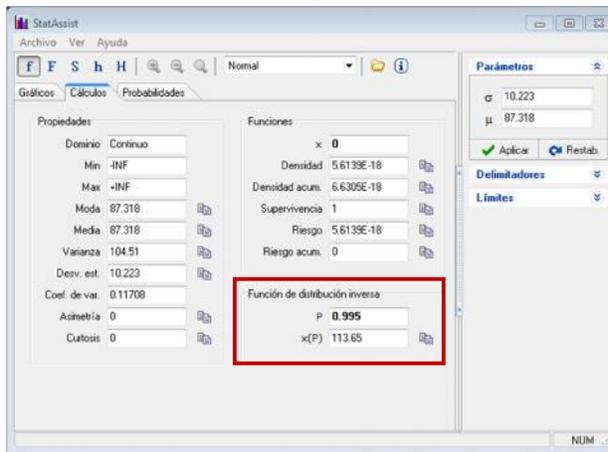
Para T = 20 años



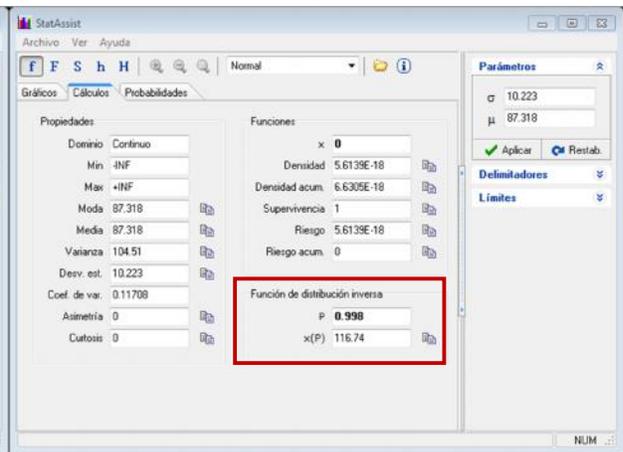
Para T = 50 años



Para T = 100 años



Para T = 200 años



Para T = 500 años

Anexo 5.4 : Resultados metodologías hidrometeorológicas HEC HMS

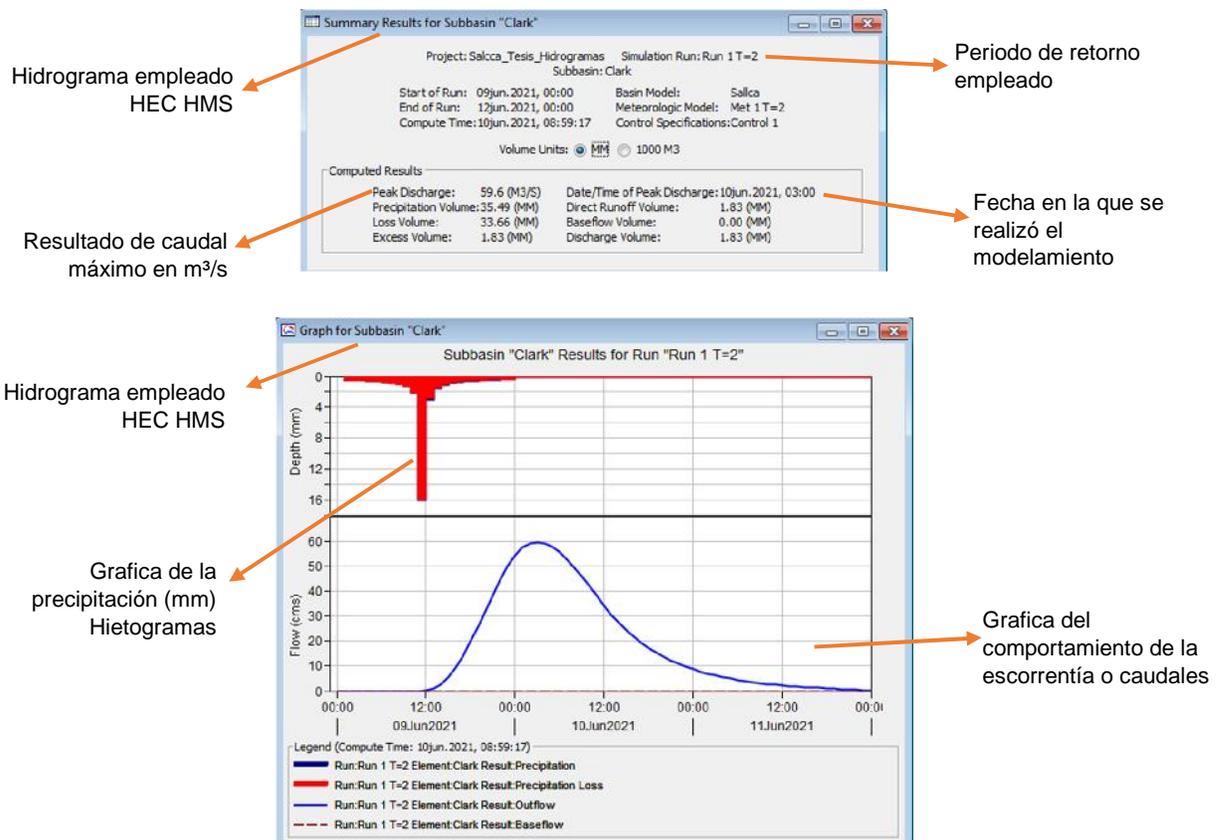
En los siguientes gráficos se muestran recortes de pantalla de los resultados obtenidos del modelo hidrológico HEC HMS, empleados para determinar los caudales máximos mediante metodologías Hidrometeorológicas, se tiene:

1. Resultados del hidrograma unitario de Clark
2. Resultados del hidrograma unitario de Snyder
3. Resultados del hidrograma unitario de SCS

Dicho recorte de pantalla tiene como principal característica mostrar el resultado de caudal máximo y diagramar dicho resultado en función a la precipitación y escurrentía, se tiene:

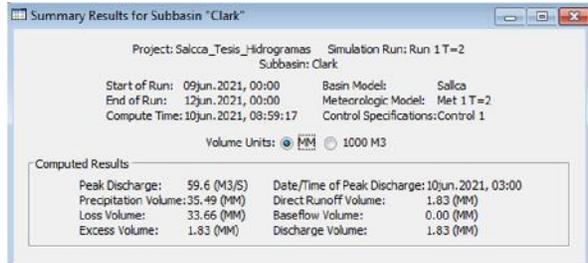
Clark, Snyder o SCS

Resultado de Hidrograma Unitario

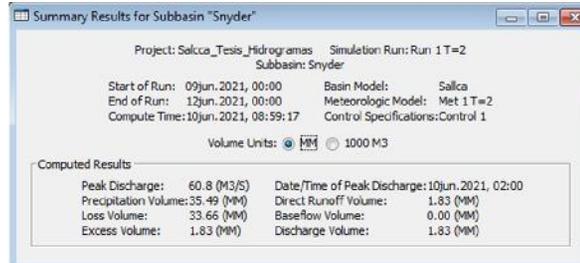


1. Periodo de retorno (T = 2 años)

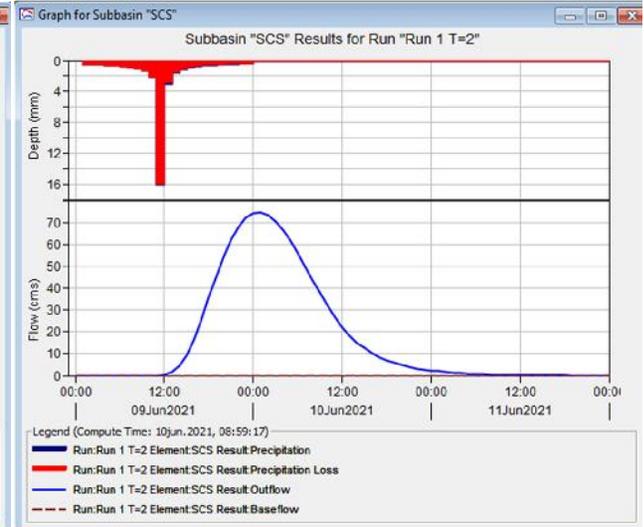
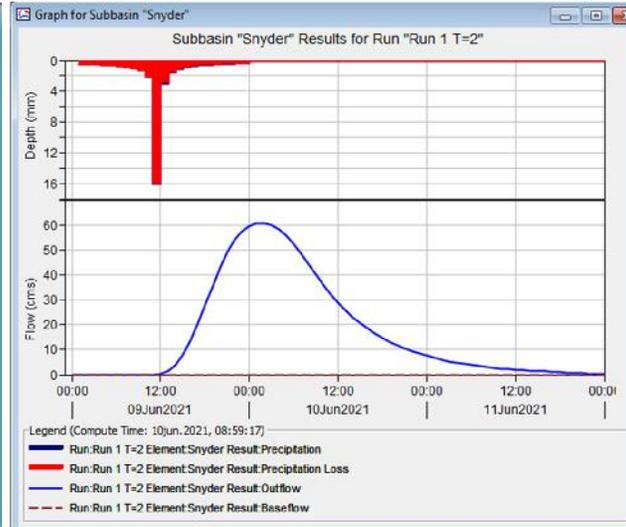
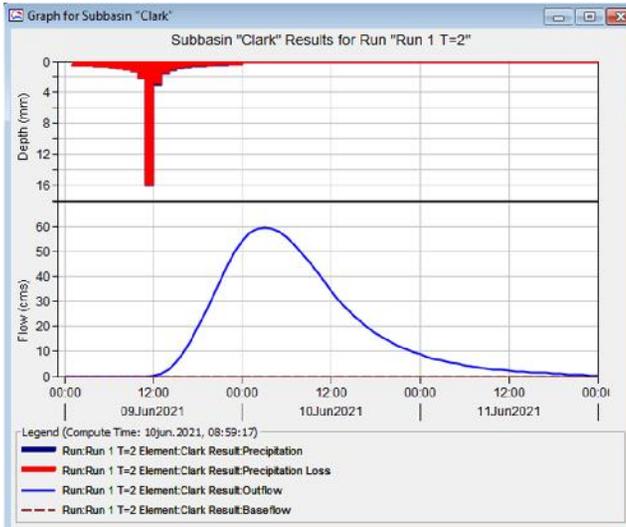
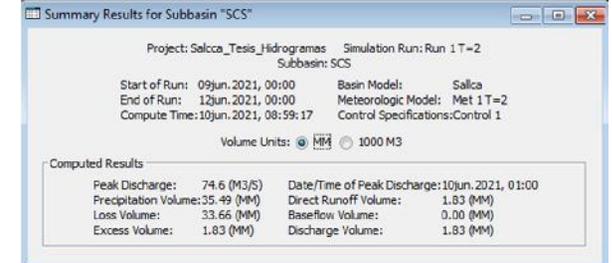
Clark



Snyder

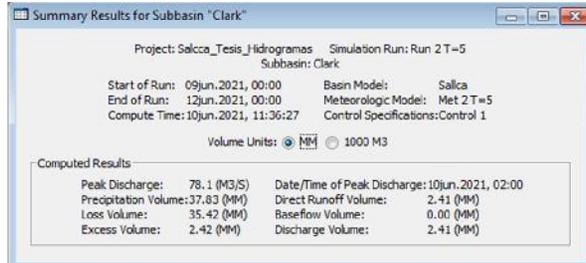


SCS

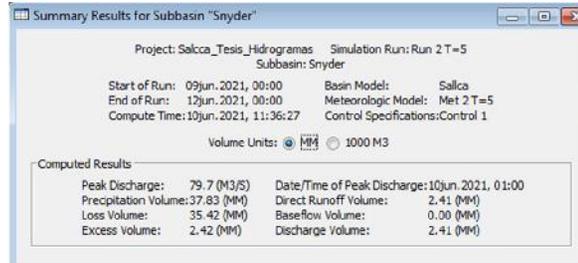


2. Periodo de retorno (T = 5 años)

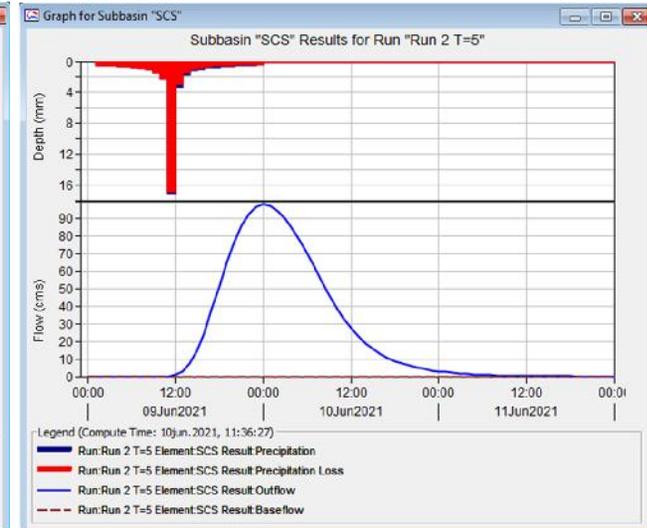
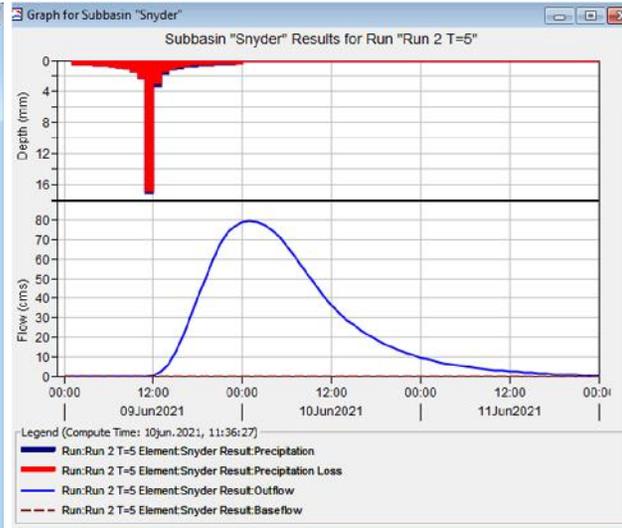
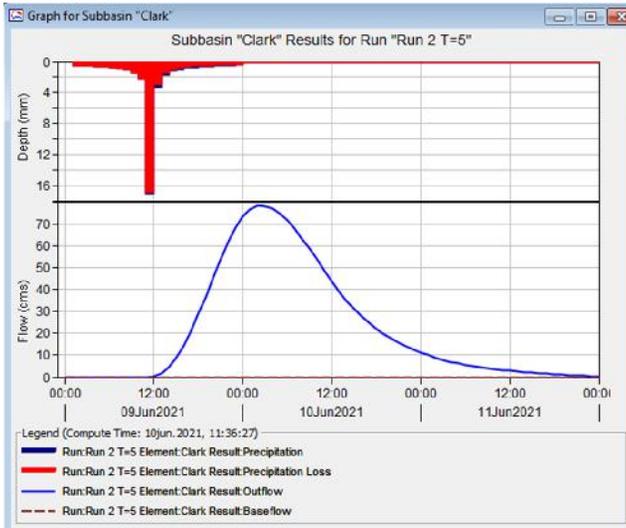
Clark



Snyder

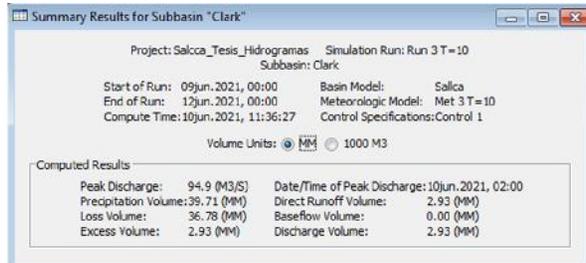


SCS

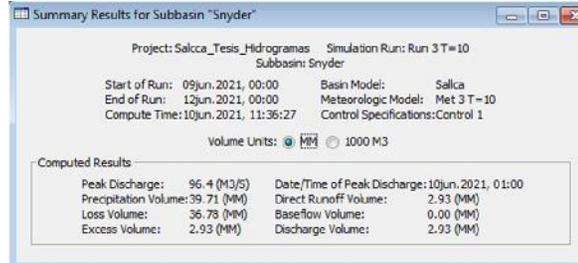


3. Periodo de retorno (T = 10 años)

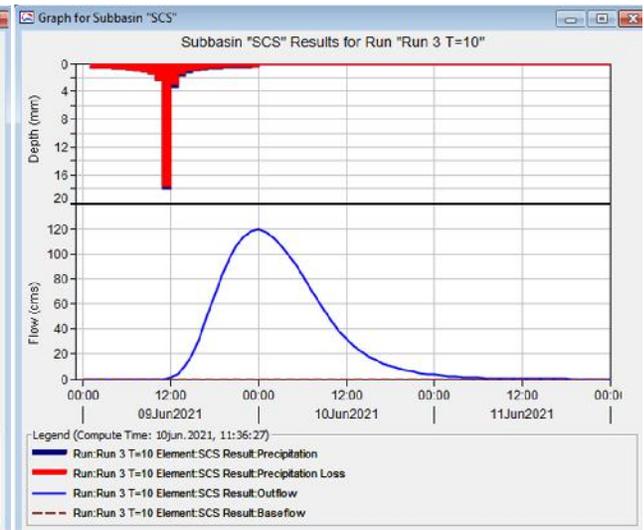
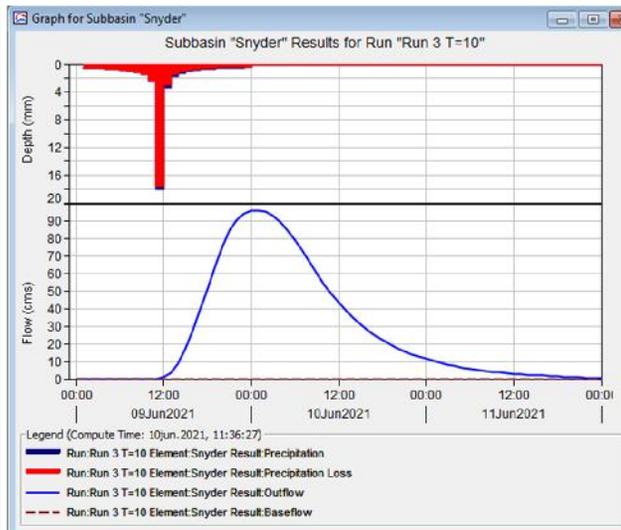
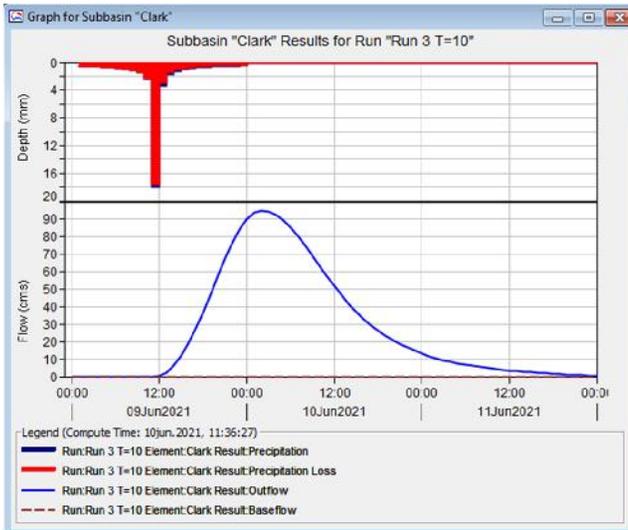
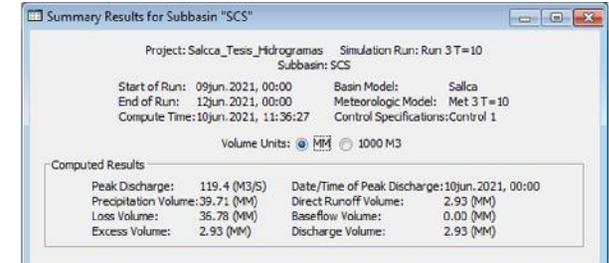
Clark



Snyder

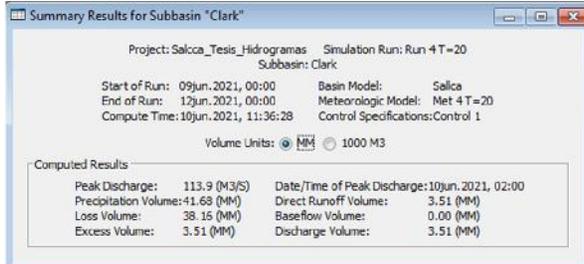


SCS

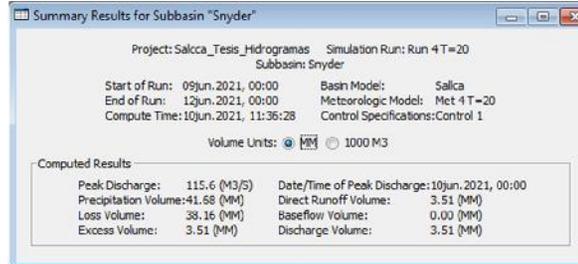


4. Periodo de retorno (T = 20 años)

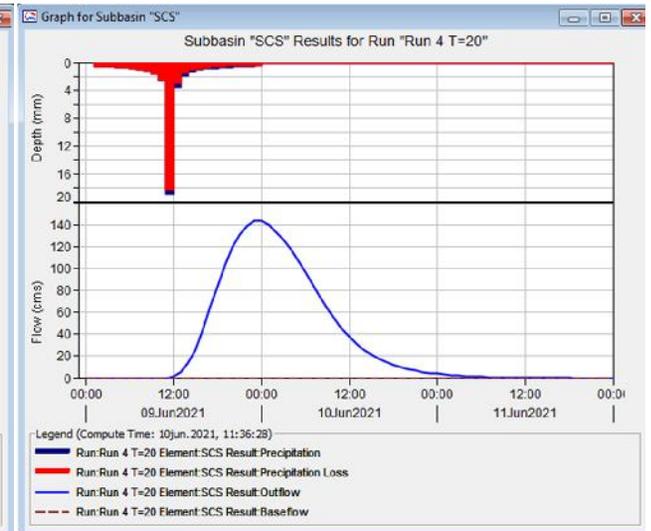
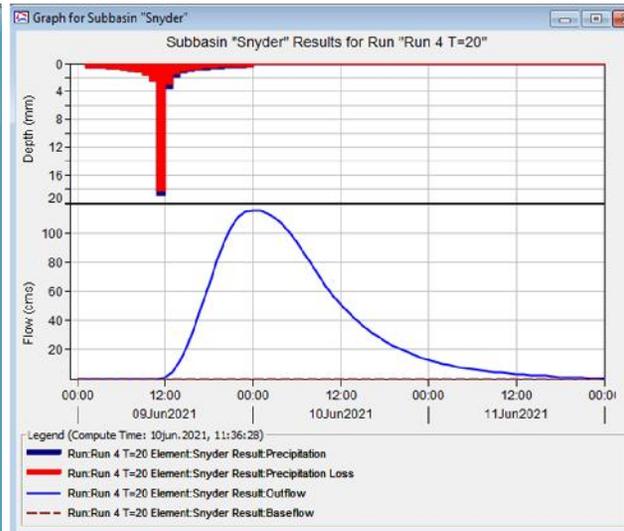
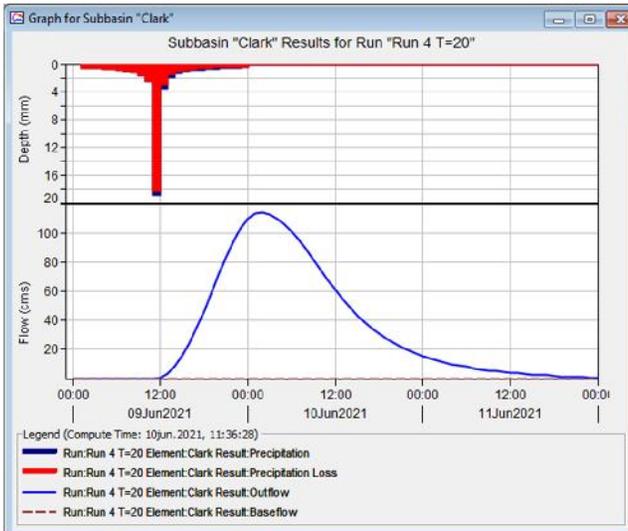
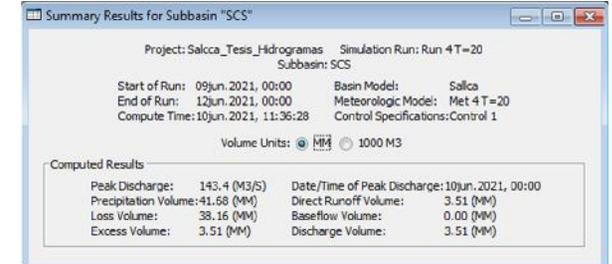
Clark



Snyder

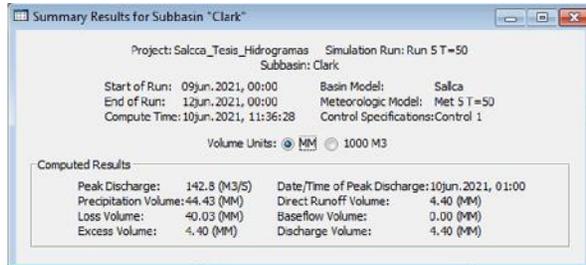


SCS

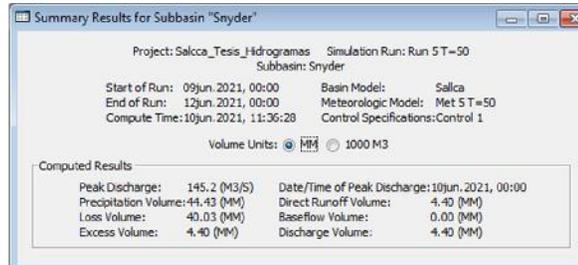


5. Periodo de retorno (T = 50 años)

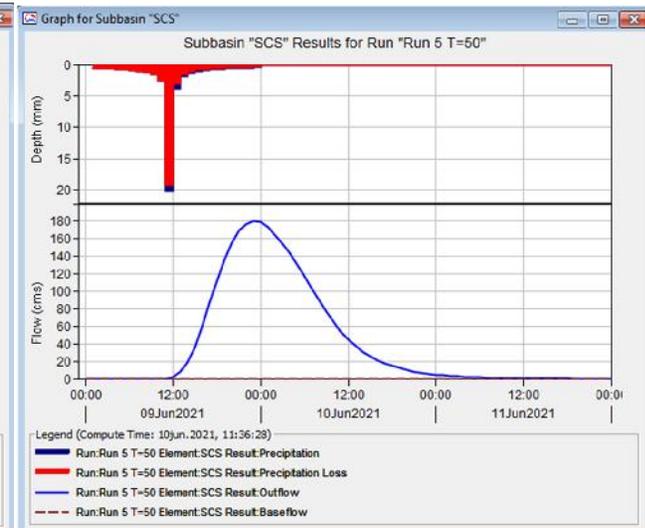
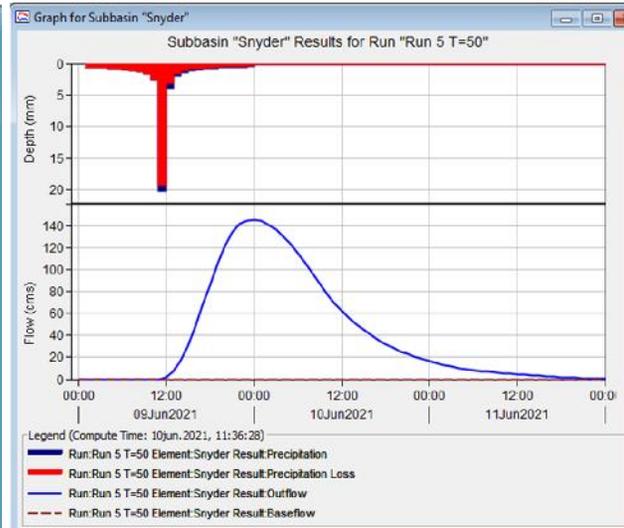
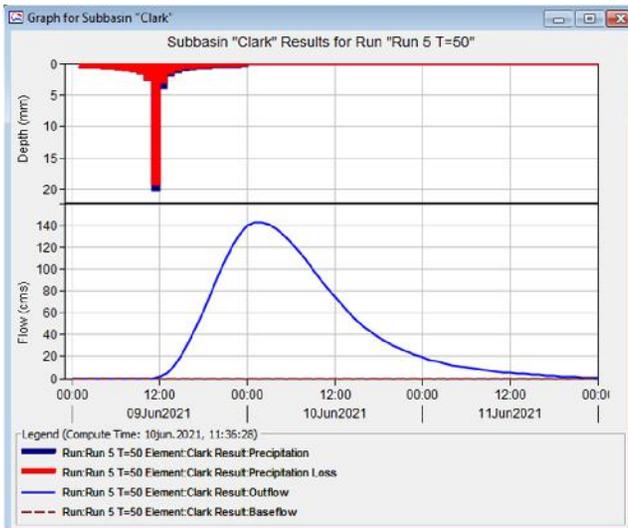
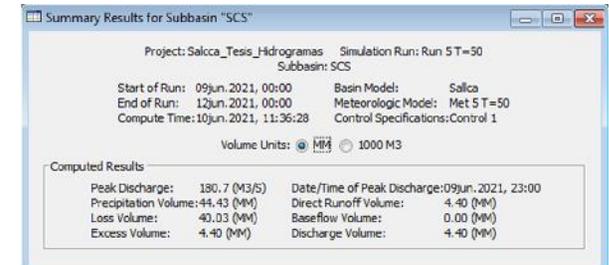
Clark



Snyder

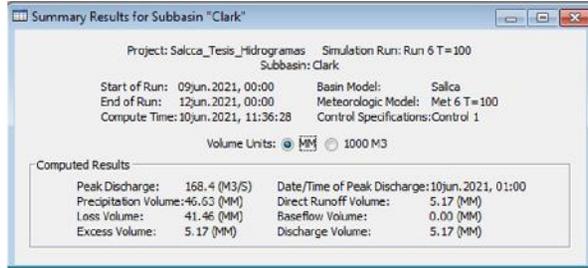


SCS

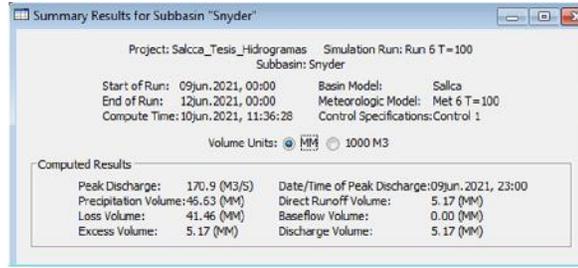


6. Periodo de retorno (T = 100 años)

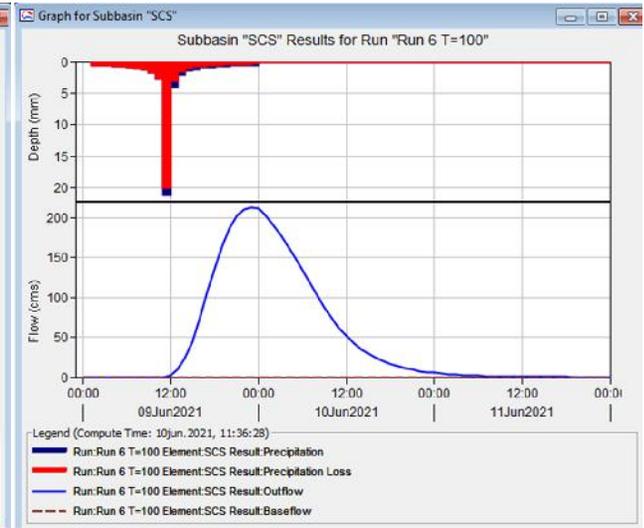
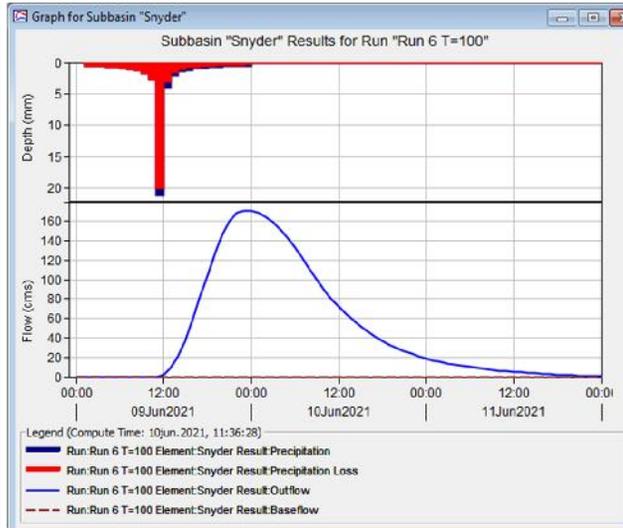
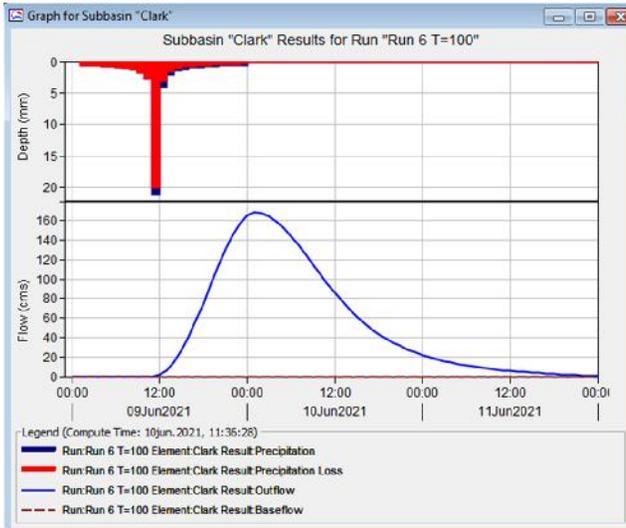
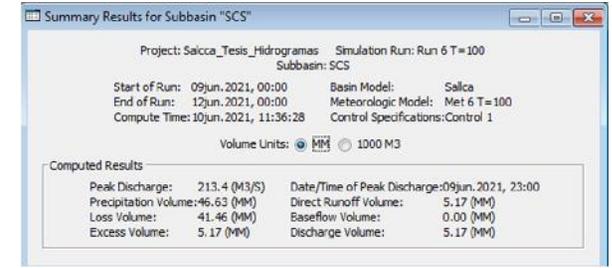
Clark



Snyder

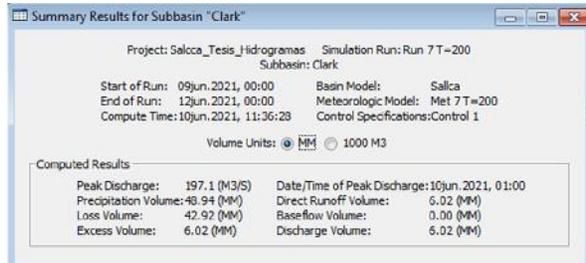


SCS

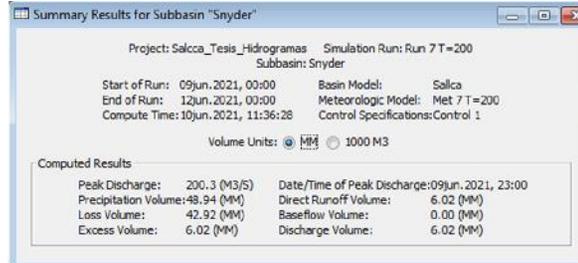


7. Periodo de retorno (T = 200 años)

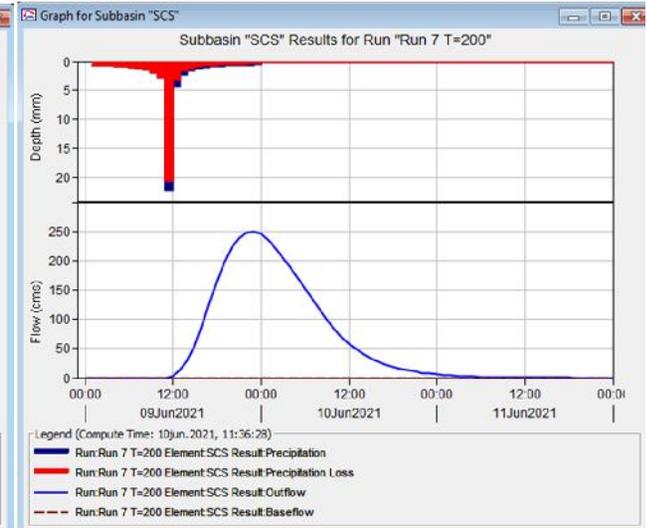
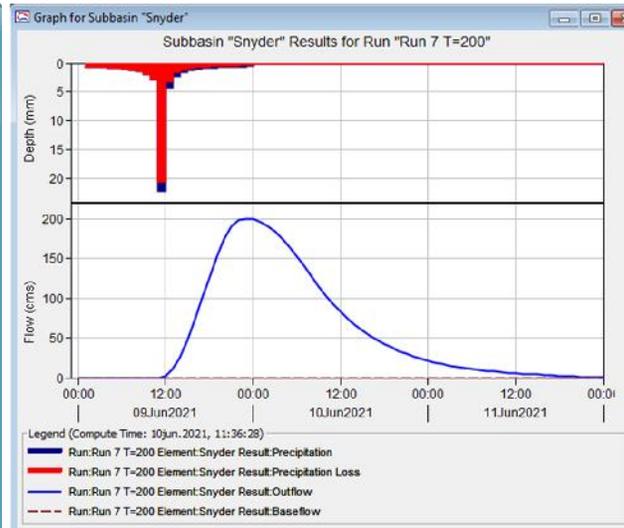
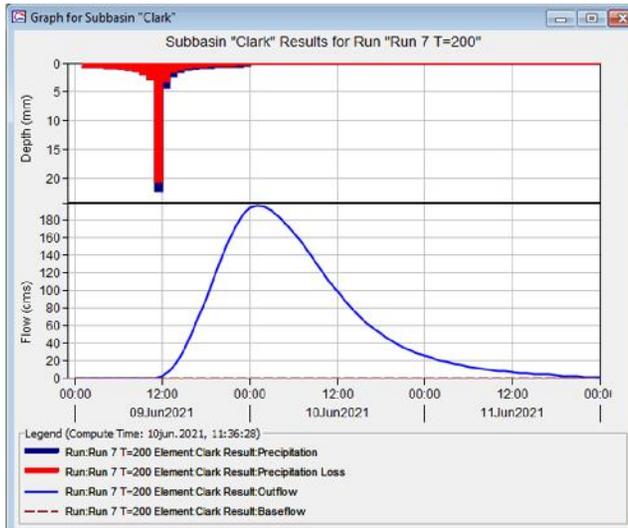
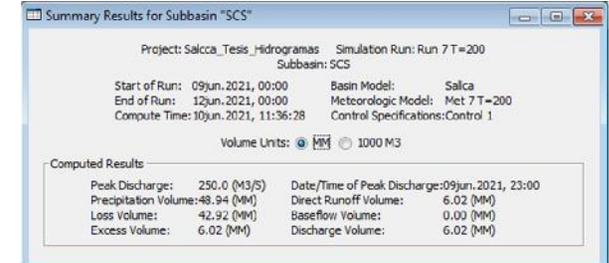
Clark



Snyder

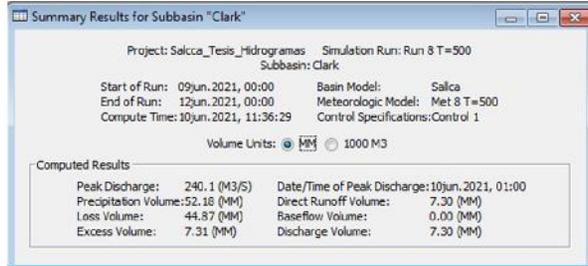


SCS

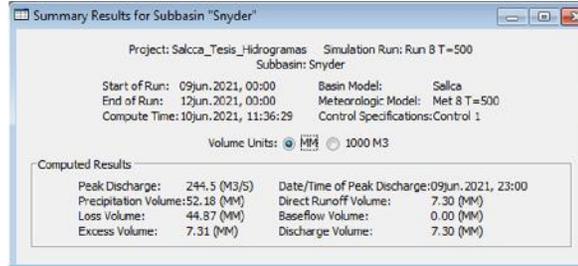


8. Periodo de retorno (T = 500 años)

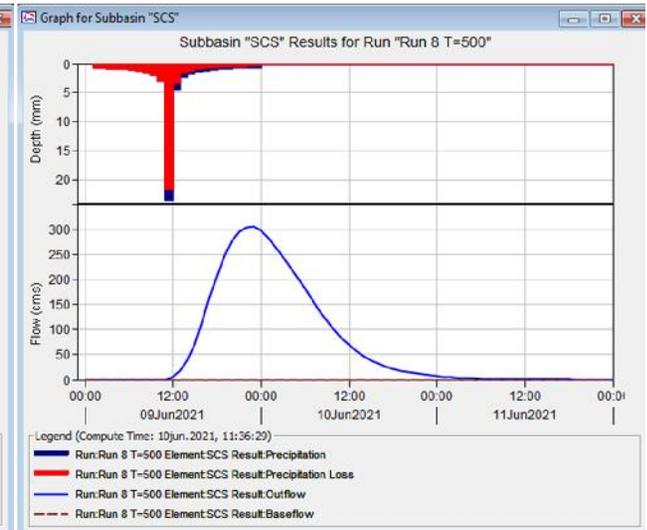
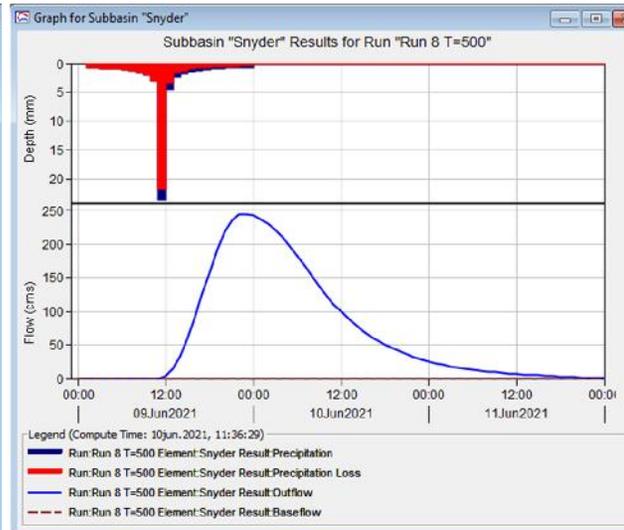
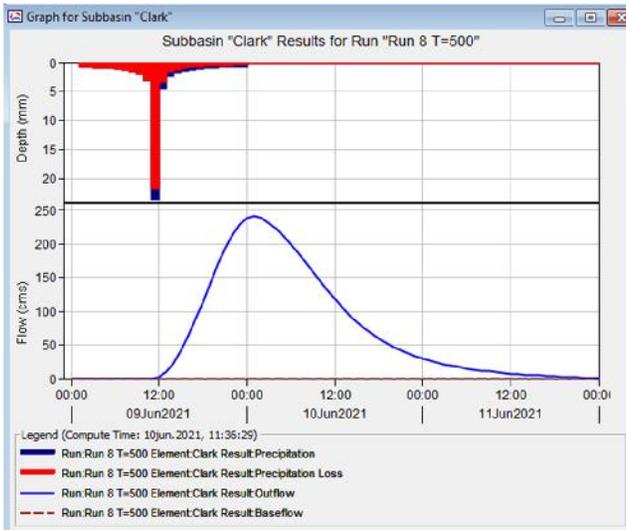
Clark



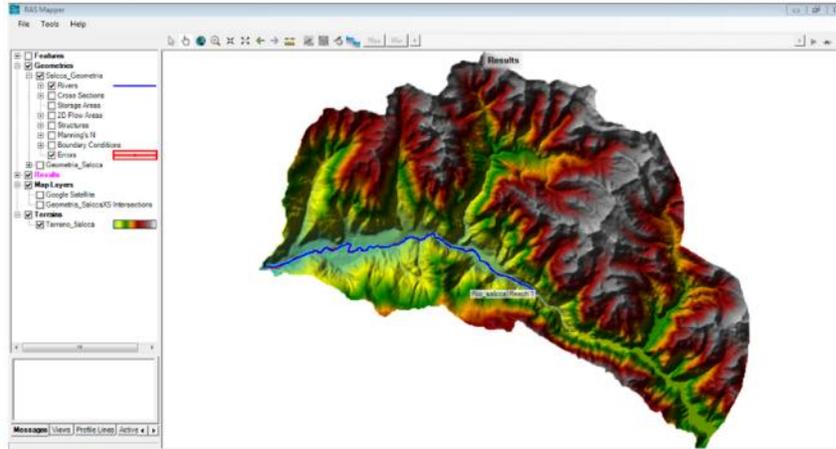
Snyder



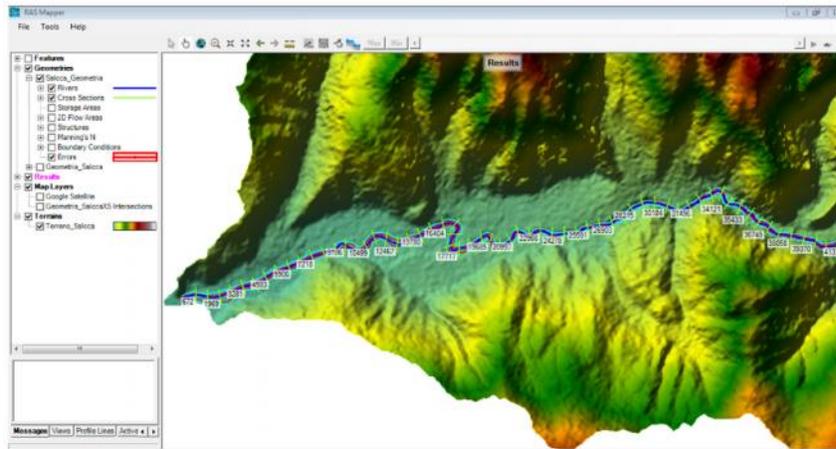
SCS



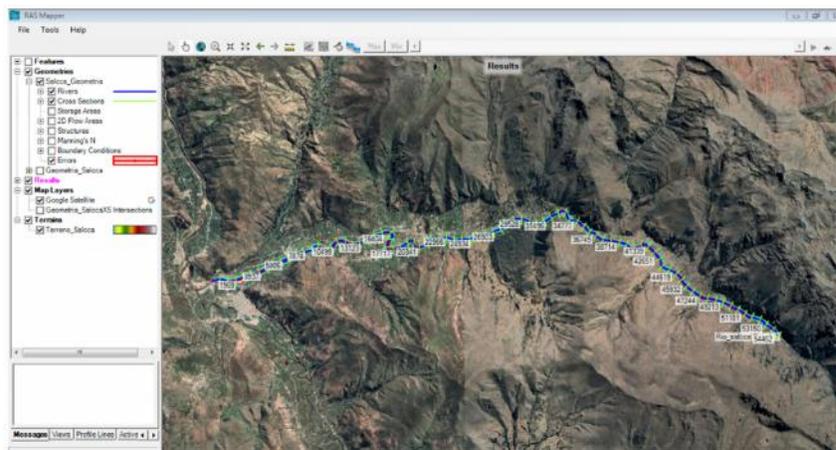
Anexo 5.5 : Resultados tramos en riesgo - propuestas



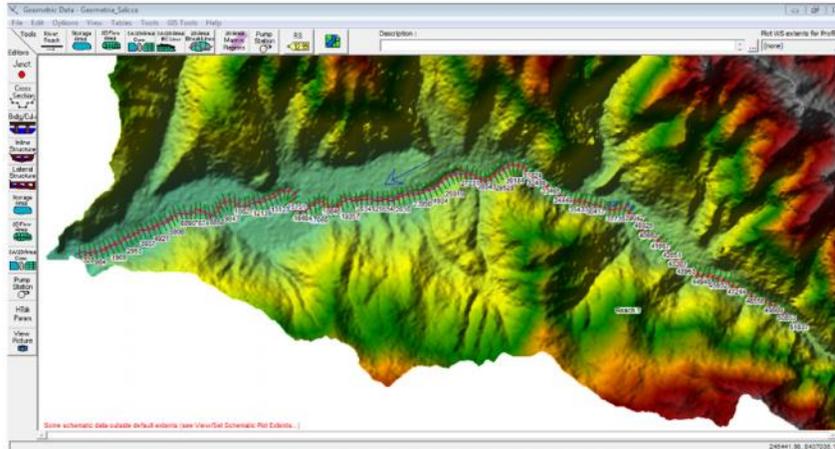
Ingreso de topografía y geometría de cuenca de estudio (Tramo de la cuenca baja Salcca), en la ventana de trabajo HEC RAS – RAS MAPPER



Generación de secciones transversales (Tramo de la cuenca baja Salcca), en RAS MAPPER



Generación de secciones transversales sobre la cuenca en estudio (Tramo de la cuenca baja Salcca)



Exportación a la ventana Geometric Data (HEC RAS)

Edit Manning's n or k Values

River: Salcca

Reach: Reach 1

Selected Area Edit Options

River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1 51837	n	0.035	0.032	0.035
2 51509	n	0.035	0.032	0.035
3 51181	n	0.035	0.032	0.035
4 50853	n	0.035	0.032	0.035
5 50525	n	0.035	0.032	0.035
6 50197	n	0.035	0.032	0.035
7 49869	n	0.035	0.032	0.035
8 49541	n	0.035	0.032	0.035
9 49213	n	0.035	0.032	0.035
10 48885	n	0.035	0.032	0.035
11 48556	n	0.035	0.032	0.035
12 48228	n	0.035	0.032	0.035
13 47900	n	0.035	0.032	0.035
14 47572	n	0.035	0.032	0.035
15 47244	n	0.035	0.032	0.035
16 46916	n	0.035	0.032	0.035
17 46588	n	0.035	0.032	0.035
18 46260	n	0.035	0.032	0.035
19 45932	n	0.035	0.032	0.035
20 45604	n	0.035	0.032	0.035
21 45276	n	0.035	0.032	0.035
22 44948	n	0.035	0.032	0.035
23 44619	n	0.035	0.032	0.035
24 44291	n	0.035	0.032	0.035

Llenado de los coeficientes de Manning e la cuenca Salcca en HEC RAS

Steady Flow Data - Condicion_Salcca

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 1

Locations of Flow Data Changes

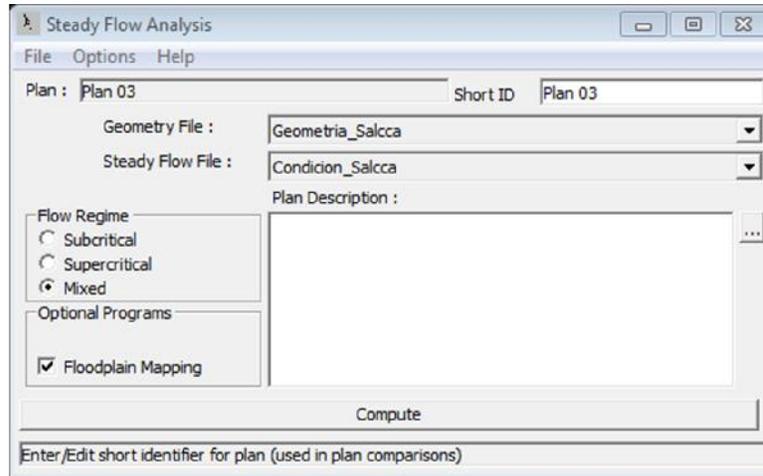
River: Salcca

Reach: Reach 1

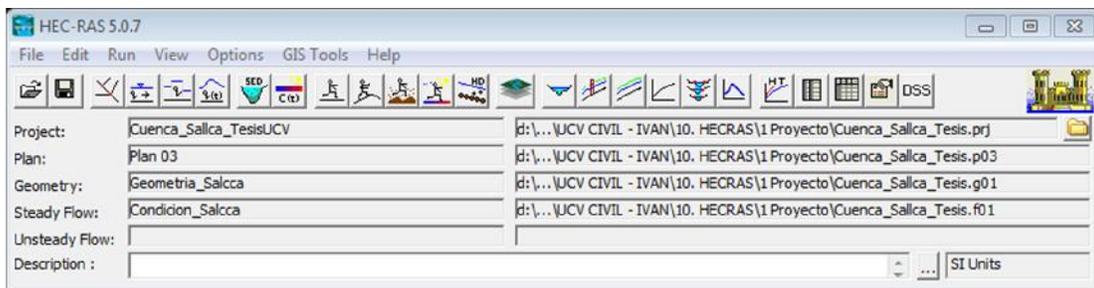
River Sta.: 51837

Flow Change Location	Profile Names and Flow Rates
River	TR = 100
1 Salcca	Reach 1 51837 168.4

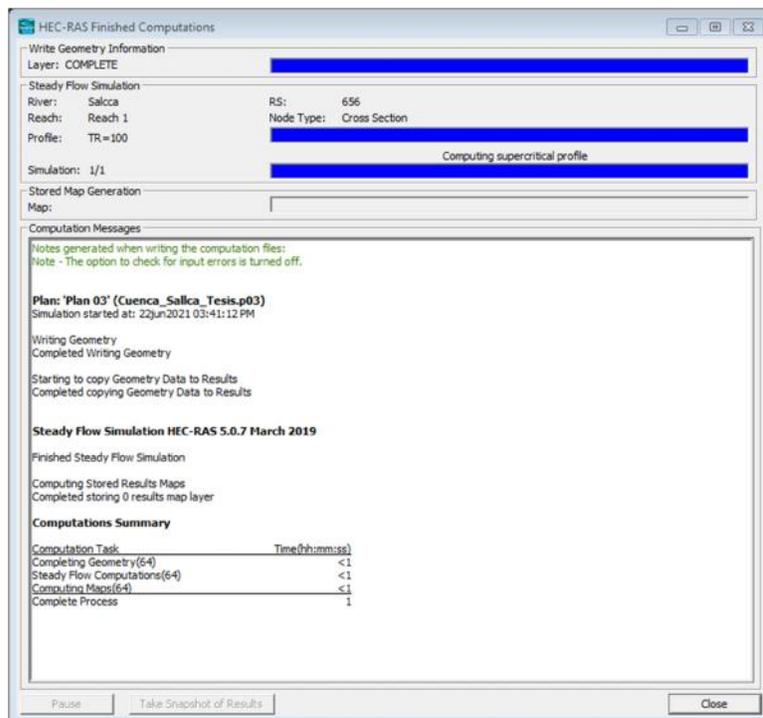
Llenado de los parámetros de caudales o condiciones de diseño en HEC RAS



Llenado de los parámetros de análisis en HEC RAS



Software HEC RAS, modelación de inundación con todos los parámetros necesarios para simular el modelo (Cuenca Salcca)



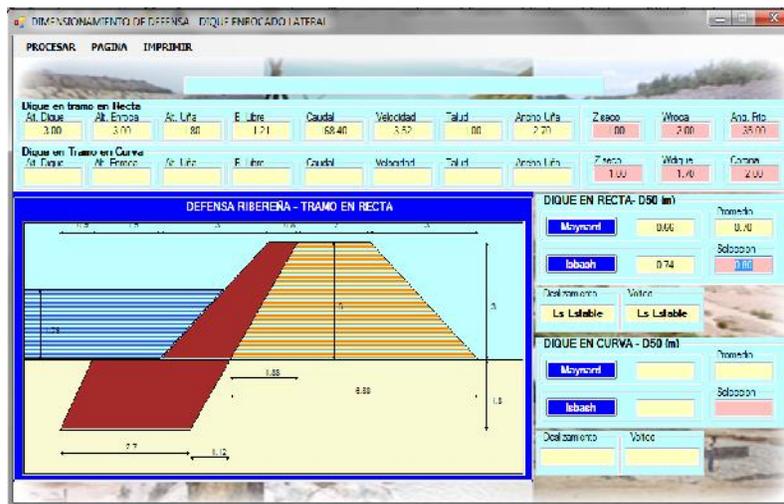
Resultado de la simulación del modelo, sin errores



Resultado de la simulación e inundación de la cuenca Salcca



Calculo hidrológico en el aplicativo RIVER – ANA, para diseño de muro



Resultado de las dimensiones de muro longitudinal lateral

Anexo 6 : Información de las estaciones meteorológicas

Anexo 6.1 : Carta de presentación



Los Olivos, 27 abril del 2021

CARTA N°410-2021/EP-ING-CIV-UCV

Ing. Zenón, Huamán Gutiérrez

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Director Zonal 12

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a usted, para saludarle en nombre de la Universidad Cesar Vallejo y en especial de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a la vez presentar al bachiller ZELA GALIANO IVAN FRITZ, con código de matrícula N° 7002662547 y con DNI N°44377817, quien se encuentra en la etapa de desarrollo del proyecto de investigación: **"Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021"**, indicar que el bachiller requiere recopilar información de gabinete, el cual serán de uso exclusivo para la elaboración de su tema de investigación.

Agradezco anticipadamente su gentil atención y su apoyo en favor del bachiller.

En tal sentido, si fuera posible de remitirle la información al correo electrónico ifzelagaliano@gmail.com.

Segura de contar con su apoyo, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima.

Cordialmente,

A circular official stamp of the Universidad César Vallejo is positioned to the left of a handwritten signature in black ink. The signature appears to be "Doris Lina Huamán Baldeón".

Mg. Doris Lina Huamán Baldeón
Coordinadora
EP de Ingeniería Civil

Anexo 6.2 : Respuesta, convenio SENAMHI

Debido a la coyuntura actual (Periodo COVID), que atraviesa el Perú, los tramites y solicitudes a las instituciones del estado se realizan a través de sus páginas web – tramites virtuales o a correos institucionales proporcionados. Para la presente investigación se solcito información al SENAMHI, mediante carta de presentación y demás requisitos propios de la institución, a continuación, se muestran los correos cursados:

1. Correo de recepción de documentos entregados para convenio SENAMHI de fecha 07 de mayo del 2021, se adjunta la imagen del correo recepcionado.


Martha Huilca Condor (DZ12) <mhuilca@senamhi.gob.pe> para mí ▾ 7 may 2021 15:40 ☆ ↶ ⋮

Buenos Estimado Sr. Ivan

El presente es con la finalidad de confirmar la recepción de su solicitud con Expediente N° 2021-0002791, tal como se muestra en la imagen adjunta.

Saludos Cordiales.

Martha H.
DZ12 - SENAMHI

ESTADO	TIPO EXPEDIENTE	TIPO EMISOR	REMITENTE	ASUNTO	TIPO DOC.	N° DOC.	DESTINATARIO	ORIGEN REC.
REGISTRADOS	SOLICITA INFORMACION	CIUDADANO	CIUDADANO - ZELA GALIANO IVAN FRITZ, - DNI: 44377817	SOLICITA INFORMACION PARA TESIS	ACTA DE NOTIFICACIÓN		DIRECCION ZONAL 12 - HUAMAN GUTIERREZ ZENON	MESA DE PARTES DIRECCION ZONAL 12

2. Atención a solicitud e convenio SENAMHI y el investigador, resultado aprobatorio de fecha 25 de mayo del 2021, se adjunta la imagen del correo recepcionado.


Martha Huilca Condor (DZ12) para mí ▾ 25 may 2021 15:51 ☆ ↶ ⋮

Estimado Señor Ivan Fritz Zela Galiano

Un saludo cordial a nombre de la Dirección Zonal 12 SENAMHI, el presente es con la finalidad de dar atención a la solicitud de expediente de recepción N° 2021-0002791, mediante el cual solicita información de datos meteorológicos de Precip. Max. en 24 horas de las estaciones Sicuani y Pomacanchi, así mismo caudal de la estación Salcca, por lo que adjunto al presente dicha información de acuerdo a la disponibilidad encontrada en el banco de información de nuestra Institución, esperando que lo alcanzado sirva para los propósitos trazados. Como también aprovecho la ocasión para recordarle el compromiso que sostuvo con el SENAMHI de emitir un ejemplar de Tesis aprobada.

NOTA: Por favor, confirmar la recepción del presente.

Atentamente

Martha Huilca Condor
Asistente Administrativo
DZ12-Cusco

3. Conformidad de recepción de archivos adjuntos en formatos Excel de las estaciones solicitadas de fecha 25 de mayo del 2021, se adjunta la imagen del correo recepcionado.



Los correos que se muestran en las imágenes pertenecen a:

Investigador: Br. Ivan Fritz Zela Galiano, con DNI 44377817

Correo del investigador: ifzelagaliano@gmail.com

Responsable de recepción SENAMHI Zonal XII: Srta. Martha Huillca R.

Correo institucional: mhuillca@senamhi.gob.pe

Anexo 7 : Turnitin

The screenshot shows the Turnitin Feedback Studio interface. The document title is "UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO" and the author is "IVAN FRITZ ZELA GALIANO". The document is titled "CAUDALES MAXIMOS turnitin.docx". The interface displays a summary of coincidences on the right side, showing a total of 18%. The document content includes the faculty name "FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA" and the school "ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL". The document title is "Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco - 2021". The author's name is "Zela Galiano, Iván Fritz" and the advisor's name is "ASESOR:". The interface also shows a sidebar with navigation icons and a search bar.

Tesis Turnitin

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe	2%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	1%
3	www.juntadeandalucia.es	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe	1%
5	transparencia.mtc.gob.pe	1%
6	hdl.handle.net	1%
7	www.slideshare.net	1%
8	repositorio.unap.edu.pe	1%
9	purl.org	1%

Anexo 8 : Fotografías



Fotografía 01: Se observa la parte baja de la cuenca Salcca



Fotografía 02: Se observa al investigador en el emplazamiento de la cuenca Salcca



Fotografía 03: Se observa al investigador en la estación meteorológica de Pomacanchi.



Fotografía 04: Se observa al investigador en la estación meteorológica de Sicuani.



Fotografía 05: Se observa el punto de desfogue de la cuenca Salcca con el rio Vilcanota.

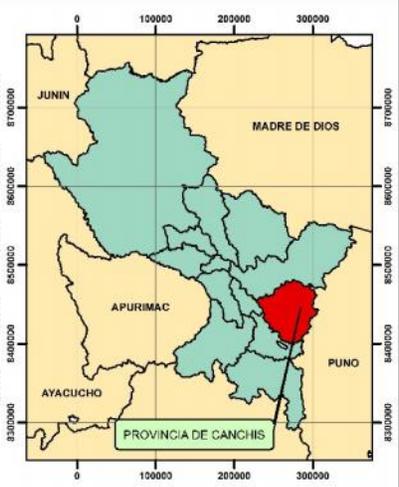
Anexo 9 : Mapas

A continuación, se presentan los siguientes mapas elaborados:

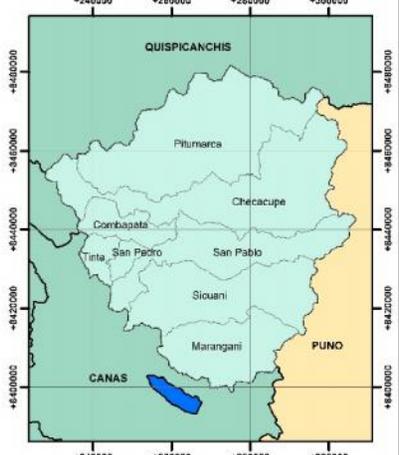
- Mapa 01 : Mapa de ubicación geográfica
- Plano 02 : Mapa de ubicación hidrografica
- Plano 03 : Mapa de clasificación altitudinal
- Plano 04 : Mapa de parámetros geomorfológicos



Mapa de ubicacion a nivel regional



Mapa de ubicacion a nivel provincial



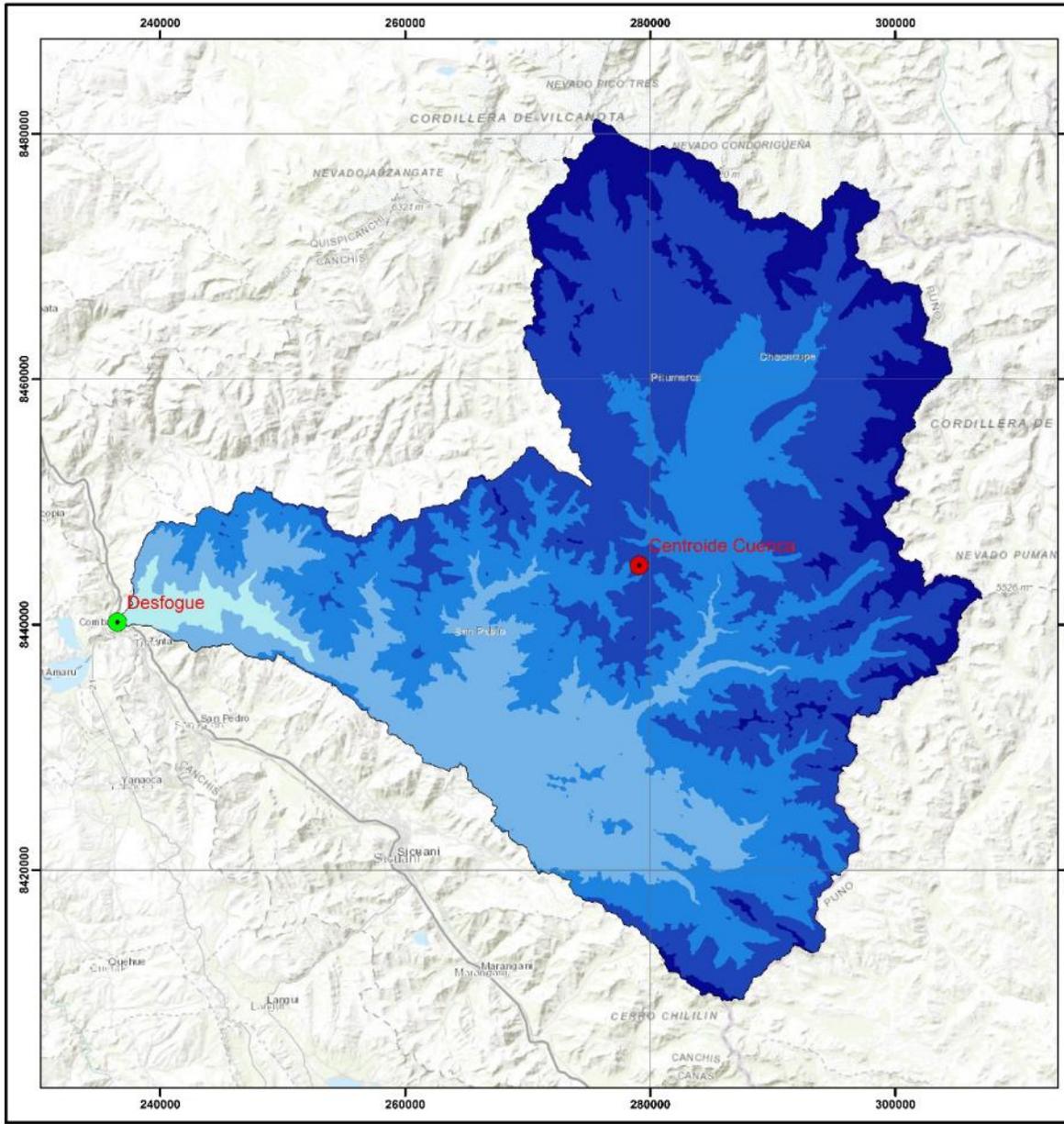
Mapa de ubicacion a nivel distrital - Canchis

Mapa de ubicacion hidrografica - Cuenca Salcca

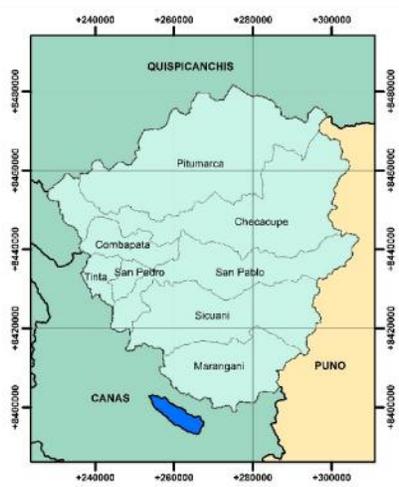
Escala
1:500,000



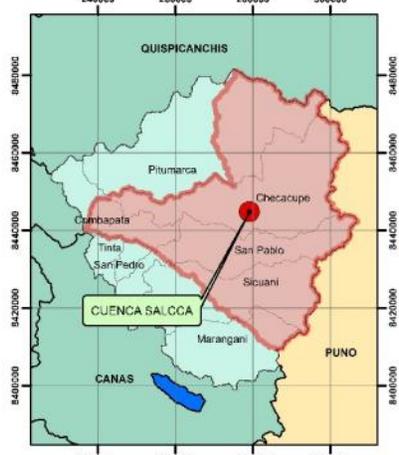
Facultad de Ingenieria y Arquitectura		Escuela Profesional de Ingenieria Civil	
Título: Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco – 2021			
Plan: Mapa de ubicación geográfica		Autor: Dr. Ing. Vargas Chacaltana, Luis A.	
Departamento : Cusco		Tesis: Br. Zela Galiano, Ivan Fritz	
Provincia : Canchis		Fecha: Lima, Junio del 2021	
Distrito : Sicuani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checacupe y Marangani		Zona: WGS84 - 19L	
			Mapa-01



Mapa de clasificación según elevación - altimetría
Escala 1:350,413

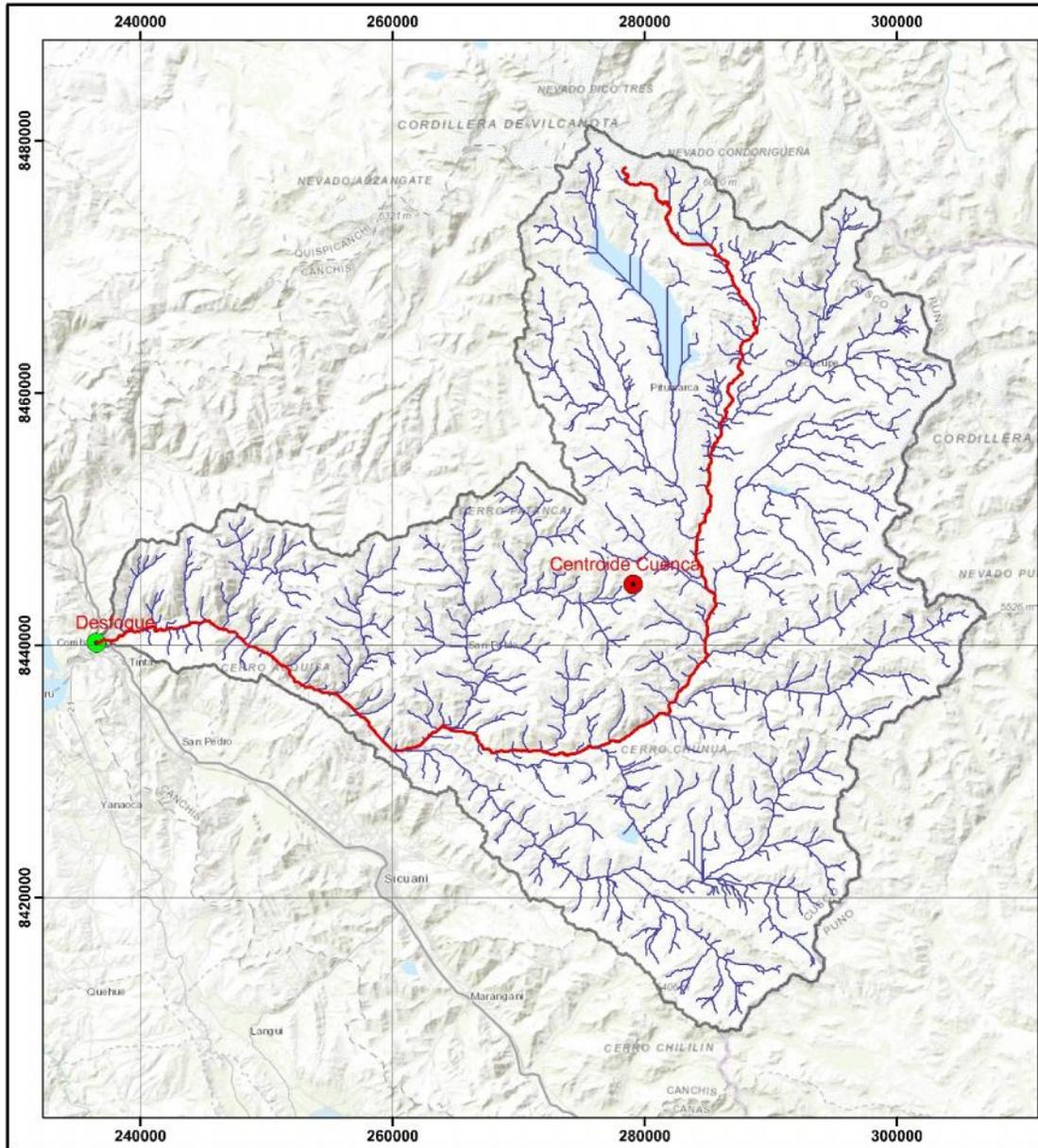


Mapa de ubicación a nivel distrital



Mapa de ubicación Cuenca Salcca

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	Facultad de Ingeniería y Arquitectura	Escuela Profesional de Ingeniería Civil
	Tema: Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salcca, Canchis, Cusco - 2021	
	Autor: Mapa de clasificación altitudinal	
	Asesor: Dr. Ing. Vargas Chacaltana, Luis A.	
Departamento: Cusco	Título: Br. Zeta Gallano, Ivan Fritz	
Provincia: Canchis	Fecha: Lima, Junio del 2021	
Distrito: Siguani, San Pablo, Combapata, Pitumarca, Checaupe y Marangani	Zona: WGS84 - 19L	Mapa-03



Extensión	Sicani	Salca	Punacachi
Provincia	Cuzco	Cuzco	Aconao
Distrito	Sicani	San Pablo	Punacachi
Código	412198C	114115	111099
Tipo	Autoridad Municipal	Autoridad Municipal	Autoridad Municipal
Latitud	14°14'14.3"	14°11'11.33"	14°13'48.1"
Longitud	71°14'15.1"	71°15'54.64"	71°14'21.9"
Altura	3324 msnm	3015 msnm	3600 msnm



Mapa de ubicación cuenca Salca

Características geomorfológicas cuenca Salca

Escala
1:350,000

Parámetros	Variable	Unidad	Cuenca Salca
1.- Parámetros Geomorfológicos			
Superficie total	A_t	km^2	2221.70
Superficie total de drenaje	A_d	km^2	2142.12
Perímetro total	P	km	331.81
Centro de gravedad	Latitud	L_y	$g^{\circ} m^{\circ} s''$ 14 10 49'
	Longitud	L_x	$g^{\circ} m^{\circ} s''$ 71 42 20'
Altitud media	L_{mz}	msnm	4720.80
Coeficiente total	C_t	km	3.92
Pendiente media del curso principal	I_p	%	10.88
Longitud del curso principal	L_{cp}	km	111.23
Longitud del curso principal al centro de gravedad	L_{cg}	km	37.08
2.- Parámetros Hidrográficos			
Índice de Competencia de Gravelius	K_G		1.87
Factor de cuenca	L_{f_c}	km	111.23
Índice de Horton	A_i	km	2331.70
Índice de densidad de drenaje	n		0.19
Longitud total de los ríos de diferentes órdenes	L_r	km	393.36
Densidad de drenaje	D_d	km/km^2	0.18
Orden de bifurcación de los ríos	O_b		2.00
Frecuencia de los ríos	F_r	mm^2	
	T_c	hr	12.28
	T_r	hr	8.82
	T_h	hr	5.75
	T_p	hr	9.05
	T_b	hr	12.88

Mapa de ubicación Cuenca Salca

 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	Facultad de Ingeniería y Arquitectura	Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
	Título: Determinación de caudales máximos, aplicando metodologías probabilísticas e hidrometeorológicas, en el río Salca, Canchis, Cuzco – 2021		
	Plano: Mapa parámetros geomorfológicos	Asesor: Dr. Ing. Vargas Chacaltana, Luis A.	
	Departamento : Cuzco Provincia : Canchis Distrito : Sicuani, San Pablo	Resolución: Br. Zela Galiano, Ivan Fritz Fecha: Lima, Junio del 2021	Zona: WGS84 - 19L Mapa-04

Anexo 10 : Normas y manuales

Anexo 10.1 : Norma Técnica CE. 040 Drenaje Pluvial

Fuente:

República del Perú

Resolución Ministerial N° 126-2021-VIVIENDA, fecha 21 de abril del 2021

Reglamentó Nacional de Edificaciones

Norma Técnica CE. 040 Drenaje Pluvial

Anexo I: Hidrología

En las siguientes páginas se muestran insertadas en imágenes, la resolución ministerial N° 126-2021-VIVIENDA de fecha 21 de abril del 2021, referente a la norma técnica CE. 040 drenaje pluvial, que modifica la denominación, ubicación y contenido de la norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano, que fueron empleados como guía para el desarrollo de la presente tesis de investigación.

VISTO BIENO



VIVIENDA

Firmado digitalmente por: LOBATON FUCHS
Pablo López FAU 20504743307 hard
Motivo: Day V B
Fecha: 2021/04/22 11:48:12-0500

REPÚBLICA DEL PERÚ



VISTO BIENO



VIVIENDA

Firmado digitalmente por: LOPEZ ESCOBAR, Jaime
Jaime López FAU 20504743307 hard
Motivo: Day V B
Fecha: 2021/04/22 15:05:44-0500

Resolución Ministerial

N° 26 -2021-VIVIENDA

Lima, 23 ABR. 2021

VISTOS:

El Informe N° 096-2021-VIVIENDA/MVCS-DGPRCS y el Memorandum N° 145-2021-VIVIENDA/MVCS-DGPRCS, de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento (DGPRCS); los Informes N°s. 146 y 152-2021-VIVIENDA/MVCS-DGPRCS-DC, de la Dirección de Construcción; el Informe 001-2020-CPARNE de la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones (CPARNE); y,

CONSIDERANDO:

Que, los artículos 5 y 6 de la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), establecen que el citado Ministerio es el órgano rector de las políticas nacionales y sectoriales dentro del ámbito de su competencia, entre otros, en materia de construcción, que son de obligatorio cumplimiento por los tres niveles de gobierno en el marco del proceso de descentralización y en todo el territorio nacional; asimismo, tiene entre sus competencias exclusivas, dictar normas y lineamientos técnicos para la adecuada ejecución y supervisión de las políticas nacionales y sectoriales;



Que, el numeral 1 del artículo 9 de la citada Ley establece entre las funciones exclusivas del MVCS, desarrollar y aprobar tecnologías, metodologías o mecanismos que sean necesarios para el cumplimiento de las políticas nacionales y sectoriales, en el ámbito de su competencia;

Que, el literal d) del artículo 82 del Reglamento de Organización y Funciones del MVCS, aprobado por el Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, establece que la DGPRCS tiene entre sus funciones proponer actualizaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en coordinación con los sectores que se vinculen, en el marco de los Comités Técnicos de Normalización, según la normatividad vigente;

Que, mediante Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, se aprueba el Índice y la Estructura del RNE, aplicable a las Habilitaciones Urbanas y a las Edificaciones que se ejecuten a nivel nacional; además, señala en sus artículos 1 y 3 que el MVCS aprueba, mediante Resolución Ministerial, las normas técnicas y sus modificaciones, de acuerdo con el mencionado Índice;

Que, con Decreto Supremo N° 012-2020-VIVIENDA, se modifica en el Índice del RNE, la denominación de la Norma Técnica OS.050 Drenaje Pluvial Urbano a Norma



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paola Rissa
FAU 20504743307 hard
Motivo: Day V B
Fecha: 2021/04/22 14:03:14-0500



Firmado digitalmente por:
HERNANDEZ CAMPANELLA
Javier Ernesto FAU 20504743307
hard
Motivo: Day V B
Fecha: 2021/04/2021 14:47:51-0500

VISTO BIENO



VIVIENDA

Firmado digitalmente por: LOBATON FUCHS
Fecha: 2021/04/22 11:40:12-0500

REPÚBLICA DEL PERÚ



VISTO BIENO



VIVIENDA

Firmado digitalmente por: LOPEZ ESCOBAR Jaana
Fecha: 2021/04/22 15:05:44-0500

Resolución Ministerial

Técnica CE.040 Drenaje Pluvial; así como, su ubicación del numeral II.3 Obras de Saneamiento del Título II Habilitaciones Urbanas, al numeral II.2 Componentes Estructurales del mismo Título;

Que, por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA se aprueban sesenta y seis (66) Normas Técnicas del RNE, entre ellas, la Norma Técnica OS.050 Drenaje Pluvial Urbano contenida en el numeral II.3 Obras de Saneamiento, del Título II Habilitaciones Urbanas del mencionado Reglamento; y, se constituye la CPARNE, encargada de analizar y formular las propuestas para la actualización de las citadas Normas Técnicas;

Que, a través de la Resolución Ministerial N° 894-2008-VIVIENDA, se aprueba el Reglamento Interno de la CPARNE, en cuyo numeral 6.5 se establece como una de sus funciones, evaluar y aprobar los proyectos de actualización del RNE;

Que, mediante los documentos de vistos, la DGPRCS sustenta y propone la modificación de la Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del RNE, en concordancia con lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 012-2020-VIVIENDA, la cual tiene como objeto establecer lineamientos y requisitos mínimos para el diseño y construcción de infraestructura de drenaje pluvial, con la finalidad de permitir la recolección, transporte, almacenamiento y evacuación del agua pluvial, para prevenir su acumulación e impedir la generación de focos de contaminación ambiental, el deterioro de las edificaciones e infraestructuras existentes, garantizando el óptimo desarrollo de las actividades en los centros poblados y la seguridad de las edificaciones;

Que, con el Informe N° 001-2020-CPARNE, de fecha 6 de febrero de 2020, la CPARNE remite el Acta de la Septuagésima Sexta Sesión de fecha 4 de diciembre de 2019, en la cual se acordó aprobar la propuesta normativa señalada en el considerado precedente;

Que, por Resolución Ministerial N° 094-2021-VIVIENDA, se dispuso la publicación del proyecto de Resolución Ministerial que aprueba la modificación de la Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del RNE en el Portal Institucional del MVCS; dicho proyecto recibió comentarios y aportes de las personas interesadas, siendo la Dirección de Construcción de la DGPRCS la encargada de su consolidación;

Que, de acuerdo a lo expuesto en los considerandos precedentes, corresponde modificar la denominación, ubicación y contenido de la Norma Técnica OS.050 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del RNE;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA; el Decreto Supremo N° 012-2020-VIVIENDA, Decreto Supremo que modifica la denominación y ubicación de la Norma



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paula Rosa
FAU/20504743307 hard
Motivo: Dey V° B°
Fecha: 22/04/2021 14:03:37-0500



Firmado digitalmente por:
HERNANDEZ CAMPAVELLA
Javier Ernesto FAU/20504743307
hard
Motivo: Dey V° B°
Fecha: 22/04/2021 14:40:12-0500

VISTO BUENO



Firmado digitalmente por: LOBATON FUCHS
Firma Lujana FAU 20504743397 hard
Motivo: Dey V B
Fecha: 2021/04/22 11:48:12-0500



VISTO BUENO



Firmado digitalmente por: LOPEZ ESCOBAR Juana
Firma FAU 20504743397 hard
Motivo: Dey V B
Fecha: 2021/04/22 16:00:44-0500

Resolución Ministerial

Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano en el índice del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, y, el Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, que aprueba sesenta y seis (66) Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones,

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Modificación de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones

Modifícase la denominación, ubicación y contenido de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial, del numeral II.3 Obras de Saneamiento del Título II Habilitaciones Urbanas, al numeral II.2 Componentes Estructurales del mismo Título del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por el Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, la cual forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 2.- Publicación

Publícase la presente Resolución Ministerial y la Norma Técnica a que se refiere el artículo precedente, en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.gob.pe/vivienda), el mismo día de la publicación de la Resolución Ministerial y la citada Norma Técnica en el diario oficial El Peruano.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única. - Normativa aplicable a proyectos en trámite

Los proyectos de drenaje pluvial que, a la entrada en vigencia de la presente Resolución Ministerial, cuenten con expediente técnico aprobado en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe), y/o que respecto de los cuales se haya iniciado el procedimiento ante la municipalidad competente, se rigen hasta su culminación con la Norma Técnica anterior.

Regístrese, comuníquese y publíquese.


.....
SOLANGEL FERNÁNDEZ JUANQUI
Ministra de Vivienda,
Construcción y Saneamiento



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paula Rosa
FAU 20504743397 hard
Motivo: Dey V B
Fecha: 2024/02/14 09:50:0500



Firmado digitalmente por:
HERNANDEZ CAMPANELLA
Javier Ernesto FAU 20504743397
hard
Motivo: Dey V B
Fecha: 2024/02/14 08:27:0500

ANEXO I: HIDROLOGÍA



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paula Rosa
FAU 20984743307 hard
Módulo: Ory V° 8°
Fecha: 22/04/2021 13:50:36-0500

1. ALCANCE

1.1 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

1.1.1 Precipitación en un punto

La precipitación de diseño se obtiene del análisis de frecuencia de valores extremos del registro histórico de precipitación en dicho punto. Para ello, dado la duración, de cada año del registro histórico se halla la máxima profundidad de precipitación de tal duración.

A cada serie de determinada duración, se aplica el análisis de frecuencia de valores extremos a fin de hallar la precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.

1.1.2 Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación está definida por:

$$i_{(i,T)} = \frac{P_{(i,T)}}{i}$$

Donde:

$i_{(i,T)}$: Intensidad de la precipitación, de duración i y periodo de retorno T

$P_{(i,T)}$: Profundidad de precipitación

1.1.3 Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Las curvas IDF son una familia de curvas definida gráficamente o por medio de fórmulas que relacionan la intensidad de precipitaciones con la duración y frecuencia (inversa del periodo de retorno), para un sitio o para una región, determinadas por análisis estadísticos y ajustes de curvas.

Si el sitio de interés se encuentra en el área de influencia de un pluviógrafo, se deben utilizar directamente las curvas IDF del mismo. En su defecto, se deben utilizar las curvas IDF generadas a nivel territorial en base al registro nacional de datos meteorológicos proveídas por el SENAMHI.

Si no se dispone de información de pluviógrafos, sino de valores de máxima precipitación diaria (24 horas), se determina precipitaciones con una duración menor a 24 horas y respectivas intensidades en función de la máxima precipitación diaria aplicando patrones de distribución de precipitación en el tiempo, ecuaciones de intensidad de precipitación (curvas IDF), por ejemplo, Dyck y Peschke, Bell, entre otros.

Así también, para determinar la intensidad de la precipitación de diseño, para duración y periodo de retorno seleccionado, es posible utilizar las curvas IDF del "Estudio de la hidrología del Perú" (ILA-SENAMHI-UNI, 1983), y la siguiente expresión deducida de las mismas:



Firmado digitalmente por:
CARRIÓN TELLO Paula Rosa
FAU 20504243307 hard
Motivo: Day V* S*
Fecha: 22/04/2021 13:51:35-0500

$$i_{t,T} = \frac{P_{24,T}}{t_c} \cdot \left(\frac{t+b}{t_c+b} \right)^{n-1}, \text{ para: } t \leq t_d$$

Donde:

- $P_{24,T}$: Precipitación máxima en 24 horas para T años de periodo de retorno, estimado para el sitio.
- t : Duración en horas.
- t_c : Duración con la cual se iguala la precipitación de 24 horas, en promedio 15,2 horas para el Perú.
- b y n : Parámetros de tiempo y de duración, respectivamente.

1.1.4 Hietograma de diseño

- a) En sitios de interés en los que no se disponga de información sobre la distribución de la precipitación en el tiempo, de ser requerido, se puede asumir patrones de distribución en el tiempo para fines del diseño. Por ejemplo, es posible obtener el hietograma de diseño asumiéndolo de forma triangular, o mediante el método del bloque alternante, entre otros métodos.
- b) El hietograma de diseño de forma triangular queda definido dada la precipitación de diseño P y la duración T_d , que es la base del triángulo, mientras que la altura h del triángulo se expresa mediante:

$$h = \frac{2 \cdot P}{T_d}$$

- c) El tiempo hasta alcanzar el valor pico es t_a , el tiempo de recesión t_r , y el coeficiente de avance de la tormenta r igual que la razón de t_a y T_d :

$$r = \frac{t_a}{T_d}$$

$$t_b = T_d - t_a = (1-r) \cdot T_d$$

Donde r puede estimarse de las tormentas de estaciones pluviográficas cercanas o tomarse igual a 0,6 dentro de un criterio conservador.

- d) Mediante el método del bloque alternante es posible obtener el hietograma de diseño utilizando una curva IDF, asumiendo que la precipitación P de duración T_d ocurre en n intervalos de duración Δt , tal que se cumpla:

$$T_d = n \cdot \Delta t$$

Luego de haber asumido el periodo de retorno para el diseño, la intensidad de precipitación para los intervalos de duración $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$ se lee de la curva IDF de igual periodo de retorno, para luego hallar la profundidad de precipitación de cada intervalo multiplicando intensidad por duración de intervalo. Por diferencia, se halla la profundidad de precipitación para intervalos



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paola Ressa
FAU 20504743307 kant
Móvil: Doy V° S°
Fecha: 22/04/2021 13:51:57-0500

de duración Δt . Finalmente, el hietograma de diseño se obtiene de reordenar los n bloques de duración Δt , tal que el bloque de mayor profundidad de precipitación ocurra en el centro de la duración T_d , mientras que los bloques restantes son arreglados de manera alternante en orden descendente hacia la derecha y la izquierda del bloque central.

1.2 CAUDAL DE DISEÑO

- El caudal de diseño puede ser obtenido mediante el método racional, el hidrograma unitario u otros procedimientos de hidrología urbana, por ejemplo, modelos de simulación hidrológica (simulación de eventos y simulación continua).
- El método racional puede ser empleado para pequeñas áreas de drenaje.
- El hidrograma unitario, deducido o sintético (hidrograma adimensional de SCS, hidrograma de Snyder, entre otros), puede ser empleado para áreas de drenaje mayores que $0,5 \text{ km}^2$.
- Para la determinación de la intensidad de lluvias requerida para el cálculo del caudal de diseño se debe usar la información de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) correspondiente, generada por el SENAMHI. Solo en aquellos casos que no se cuente con esta información, se utiliza la fórmula IILA SENAMHI UNI MODIFICADA indicada en el numeral 1.3, presentada en este mismo anexo.

1.2.1 Método racional

Para áreas urbanas, el área de drenaje puede estar compuesta de sub áreas o subcuencas de diferentes características superficiales, entonces el caudal pico puede ser calculado mediante la siguiente forma de la fórmula racional:

$$Q = 0,278 \cdot i \cdot \sum_{j=1}^m C_j \cdot A_j$$

Donde:

- Q : Caudal pico en m^3/s
- i : Intensidad de la lluvia en mm/hora
- A_j : Área de drenaje de la j -ésima subcuenca en km^2
- C_j : Coeficiente de escorrentía para la j -ésima subcuenca
- m : Número de subcuencas drenadas por alcantarillas o canales.

1.2.2 Coeficiente de escorrentía

La selección del valor del coeficiente de escorrentía requiere buen criterio y gran experiencia.

Para la selección, el diseñador considera los siguientes aspectos: Grado de impermeabilización y pendiente de la superficie, características y condiciones del suelo (capacidad de infiltración, condiciones antecedentes de humedad, entre



Firmado digitalmente por:
CARRION TELLO Paula Rosa
FAU 20504740367 hard
Método: Dey Vº B*
Fecha: 22/04/2021 13:52:17-0500

otros); además, puede considerarse la intensidad de la precipitación, la proximidad del nivel freático, el almacenamiento por depresiones del terreno, etc.

Las tablas 1.a, 1.b y 1.c del presente anexo pueden ser usadas para la selección de los coeficientes de escorrentía.

1.2.3 Intensidad de la lluvia

La intensidad de la lluvia es la intensidad promedio para un área de drenaje en particular, cuya selección se basa en la duración de la precipitación de diseño, que es igual que el tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración, y del periodo de retorno, que es igual a aquel de la obra de drenaje pluvial que se diseña.

El tiempo de concentración (t_c) equivale a la suma del tiempo de ingreso (t_0), desde el punto más alejado en la cuenca hasta el ingreso a una alcantarilla o a un canal, y del tiempo de flujo (t_f), tiempo dentro de una alcantarilla, un canal o más componentes de la infraestructura:

$$t_c = t_0 + t_f$$

El tiempo de ingreso o tiempo de concentración en el caso de no haber alcantarillas o canales, puede ser estimado mediante observación experimental en campo o mediante fórmulas de la "Tabla 2".

El tiempo de flujo t_f puede ser calculado mediante:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Donde L_i es la longitud del i -ésimo conducto (alcantarilla o canal) a lo largo de la trayectoria del flujo y V_i es la velocidad del flujo en el mismo.

El tiempo de concentración del área que se drena hasta el punto de interés es el mayor tiempo de concentración de las diferentes rutas de flujo que llegan a dicho punto.

El tiempo de concentración no debe ser menor que 10 minutos.

1.2.4 Área de drenaje

- Debe determinarse el tamaño y la forma de la cuenca o subcuenca en consideración. Se determina el área en mapas topográficos o por inspección en campo. Los intervalos entre las curvas de nivel deben permitir distinguir la dirección del flujo superficial.
- Debe medirse el área de drenaje que contribuye a la infraestructura que se está diseñando, así como la sub-área de drenaje que contribuye a cada punto de ingreso de la misma.
La línea divisoria debe seguir el límite real de la cuenca, en lugar de una delimitación comercial del terreno.



Tabla 2
Resumen de las ecuaciones de tiempo de concentración

METODO Y FECHA	FORMULA PARA t_c (min)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0,01947 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ $t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ <p>L : Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m S : Pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS de siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3% a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto, multiplicar t_c por 0,4; para canales de concreto, multiplicar por 0,2; sin ajustes para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0,0195 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$ <p>L : longitud del curso de agua más largo, m H : diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525 \cdot (0,0000276 \cdot i + c) \cdot L^{0,55}}{S^{0,55} \cdot i^{0,447}}$ <p>i : Intensidad de lluvia, mm/h c : Coeficiente de retardo L : Longitud de la trayectoria de flujo, m S : Pendiente de la trayectoria de flujo, m/m</p>	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de césped; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0,0070 para pavimentos muy lisos hasta 0,012 para pavimentos de concreto y 0,06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0,7035 \cdot \frac{(1-C) \cdot L^{0,55}}{S^{0,55}}$ <p>C : Coeficiente de escomentia del método racional L : Longitud del flujo superficial, m S : Pendiente de la superficie, m/m</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos, recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7 \cdot L^{0,5} \cdot n^{0,8}}{i^{0,5} \cdot S^{0,3}}$ <p>L : Longitud del flujo superficial, m n : Coeficiente de rugosidad de Manning i : Intensidad de lluvia, mm/h S : Pendiente promedio del terreno, m/m</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto i (intensidad de lluvia) como n son desconocidos; la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0,0136 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{S^{0,3}}$ <p>L : longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m CN : Número de curva SCS S : pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 810 ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1,67$ veces el retardo de la cuenca.

Fuente: Chow et al. (1994), "Hidrología aplicada", McGraw-Hill Interamericana, traducido de la primera edición en inglés de "Applied Hydrology", "Tabla 15.1.2", y traducción propia; no se incluye método de "Cartas de velocidad promedio del SCS (1975, 1986)". Ver también: Chow et al. (1988), "Applied Hydrology", McGraw-Hill Series Water Resources and Environmental Engineering



Firmado digitalmente por:
 CARRION TELLO Paula Rosa
 FAU 2050474307 hard
 Motivo: Day Vº 8º
 Fecha: 22/04/2021 13:54:04:0560

Anexo 10.2 : Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC)



**MANUAL DE HIDROLOGIA, HIDRÁULICA
Y DRENAJE**





PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE

ÍNDICE

- I. INTRODUCCIÓN
- II. OBJETIVOS Y ALCANCES
 - 2.1 Objetivos
 - 2.2 Antecedentes
- III. HIDROLOGÍA
 - 3.1. Alcances
 - 3.2. Factores Hidrológicos y Geológicos que Inciden en el Diseño Hidráulico de las Obras de Drenaje
 - 3.3. Estudios de Campo
 - 3.4. Evaluación de la Información Hidrológica
 - 3.5. Área del Proyecto - Estudio de la(s) Cuenca(s) Hidrográfica(s)
 - 3.6. Selección del Periodo de Retorno
 - 3.7. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos
 - 3.8. Determinación de la Tormenta de Diseño
 - 3.9. Tiempo de Concentración
 - 3.10. Histograma de Diseño
 - 3.11. Precipitación total y efectiva
 - 3.12. Estimación de Caudales
 - 3.13. Avenida de Diseño
- IV. HIDRÁULICA Y DRENAJE
 - 4.1. Drenaje Superficial
 - 4.1.1. Drenaje transversal de la carretera
 - 4.1.1.1. Aspectos generales
 - 4.1.1.2. Premisas para el estudio
 - 4.1.1.3. Alcantarillas
 - 4.1.1.4. Badenes
 - 4.1.1.5. Puentes
 - 4.1.2. Drenaje longitudinal de la carretera
 - 4.1.2.1. Cunetas



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel.: 481 3707 Fax: 481 0677

RIESGO ADMISIBLE	VIDA UTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0.99	1	1.11	1.27	1.65	2.7	5	5.9	11	22	44

Fuente: MONSALVE, 1999.

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla N° 01 se recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje:

TABLA N° 02: VALORES RECOMENDADOS DE RIESGO ADMISIBLE DE OBRAS DE DRENAJE

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un periodo de retorno T de 500 años para el cálculo de acaevación.

(**) - Vida Útil considerado n=25 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

3.7 Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos

3.7.1 Modelos de distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

La relación entre q_p y el caudal pico por unidad de área de drenaje q_{pu} del hidrograma unitario requerido es:

$$q_{pu} = q_p \cdot t_p / l_v \quad (50)$$

El rango de aplicación de este método es de 30 a 30 000 Km²

3.12.4 Sistema de Modelamiento Hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)

El Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers).

Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos.

Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel.: 481-3707

Fax: 481-0677



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

El HEC-HMS, representa la versión para Windows de la versión HEC-1, desarrollada para D.O.S, en la cual se han mejorado los conceptos hidrológicos, los resultados e hidrogramas producidos se almacenan en una base de datos que pueden usarse directamente por el HEC-RAS en la elaboración de estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicción del flujo, reducción de los daños de las avenidas, etc.

Para poder utilizar este programa se debe disponer de la siguiente información:

- Características de la precipitación, la intensidad se obtiene de las curvas I-d-f (Intensidad, duración, frecuencia), o puede ajustarse utilizando los procedimientos mencionados anteriormente. Es importante señalar que las precipitaciones parciales deben introducirse en intervalos fijos.
- Características de la cuenca (Área, forma, Longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de prácticas de pastoreo, tipos de precipitación, etc).

Cuando se usa el HEC – HMS uno debe juntar los elementos que componen el sistema.

La cuenca se crea "seleccionando" los elementos de la columna izquierda, arrastrándolos al centro de la "zona de trabajo". Los elementos se unen por medio de "tramos" (Reach, en la lista). Estos a su vez se adhieren a los elementos colocando sus extremos dentro de los mismos. Para poder editar los elementos, se presiona rápidamente dos veces sobre ellos hasta que aparezca la caja de diálogo en la que se deben incluir los datos respectivos. Los datos que se requieren para la cuenca, además del área (en km^2) son tres:



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímas.

Tel.: 481-3707

Fax: 481-0677



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

a) Función de infiltración y los parámetros correspondientes. La función de infiltración debe escogerse de la siguiente lista:

- I. Servicio de Conservación de Suelos (SCS)
- II. Green y Ampt
- III. Inicial / Constante
- IV. Inicial / déficit.
- V. No hay pérdida

b) Función del hidrograma unitario y los parámetros correspondientes. La función del diagrama unitario debe ser escogida de la siguiente lista:

- I. Clark.
- II. Snyder.
- III. SCS.
- IV. Clark modificado.
- V. Definido por el usuario.
- VI. Onda cinemática.

c) Función de recesión de las avenidas y los parámetros y variables correspondientes.

- I. Recesión.
- II. Flujo constante mensual.
- III. No hay flujo base.

En el caso de la función de infiltración, escogemos la del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, SCS. Se necesitan 3 tipos de datos: la pérdida inicial (en mm), el número de curva (CN) y el porcentaje de suelo impermeable en la cuenca. La pérdida inicial es la cantidad de lluvia en mm que se produce antes de ocasionar el flujo superficial. Por otro lado, el número de curva se define en base al tipo de suelo, cobertura vegetal, y prácticas de pastoreo. El porcentaje impermeable está dado por el área ocupada por lagunas y



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel.: 481-3707

Fax: 481-0677