

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura
mediante la data Grillada Pisco – Tumbes 2022**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola

Presentado por:

Br. José Luis Balladares Mena

Tumbes, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura mediante la data Grillada Pisco – Tumbes 2022

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Presidente)

DR. José Modesto Carrillo Sarango (Secretario)

Dr. Eber Gines Tafur (Vocal)

Tumbes 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura mediante la data Grillada Pisco – Tumbes 2022

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido
y forma

Br. José Luis Balladares Mena (Autor)

M.Sc. Alcoser Torres, Felix Enrique (Asesor)

Código orcid: 0000-0001-9929-4763

Ing. Henry Fernando More Medrano (Co Asesor)

Tumbes, 2022

Dedicatoria

A Dios:

*Por brindarme la vida y
las fuerzas necesarias
para triunfar y seguir
adelante en este largo
proyecto de vida.*

A mis padres

*José y Haydee, por el
sacrificio y esfuerzo que
realizan a diario, con el único
propósito de ayudarme a
poder alcanzar cada una de
mis metas personales y
profesionales.*

Agradecimiento

Este trabajo de investigación lo dedico en primer lugar a Dios, Por brindarme la vida y las fuerzas necesarias para triunfar y continuar en este largo proyecto de vida.

A la Universidad Nacional de Tumbes, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme acogido y permitirme ser parte de esta importante casa de estudios en los años de mi formación profesional.

A los miembros del Jurado Dr. Napoleón Puño Lecarnaque, Dr. José Modesto Carrillo Sarango, Dr. Eber Gines Tafur, por sus valiosos recomendaciones y consejos, para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi asesor M.Sc. Alcoser Torres, Felix Enrique por estar siempre dispuesto a brindarme sus conocimientos en la ejecución de la tesis.

A mi co-asesor Ing. Henry Fernando More Medrano por todo su tiempo y predisposición en el desarrollo de la tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA
TUMBES - PERU



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

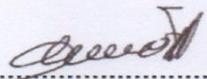
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

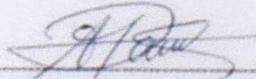
En la Ciudad de Tumbes, siendo las VEINTIUN.....horas con CERO minutos del día dieciocho.....del mes de enero.....del dos mil veintitrés, se reunieron vía virtual a través del Google Meet, los integrantes del Jurado Evaluador designados con Resolución N°038-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, de fecha quince de junio de dos mil veintidós conformada por: Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Presidente); Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Secretario); Dr. Eber Gines Tafur (Vocal); Mg. Felix Enrique Alcoser Torres (Asesor) con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación y defensa del informe final de la tesis titulada: "ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS PARA LA SUB - CUENCA ANGOSTURA MEDIANTE LA DATA GRILLADA PISCO - TUMBES - 2022" presentado y desarrollado por el Br. José Luis Balladares Mena, para optar el título profesional de Ingeniería Agrícola

Concluida la sustentación, la formulación y absolución de las preguntas y después de la deliberación, el jurado evaluador en concordancia con el artículo 65 del reglamento de tesis para pre grado y posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, lo declaran APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de MUY BUENO.....

Por lo tanto, el Br. José Luis Balladares Mena queda APTO para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes le expida el título profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con el Artículo 90 del estatuto y a lo normado en el reglamento de grados y títulos

Siendo las VEINTIDOS horas con CERO minutosdel mismo día, mes y año, el Presidente del Jurado evaluador dio por culminado el presente acto académico y en señal de conformidad se firma la presente.


.....
Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
DNI N° 00225904
ORCID N° 0000-0002-50088085
PRESIDENTE


.....
Dr. José Modesto Carrillo Sarango
DNI N° 00223850
ORCID N° 0000-0003-0841-3064
SECRETARIO


.....
Dr. Eber Gines Tafur
DNI N° 17542075
ORCID N° 0000-0003-0366-4438
VOCAL

Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura mediante la data Grillada Pisco – Tumbes 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	1library.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
6	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.untumbes.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional Autónoma de Chota Trabajo del estudiante	<1 %
17	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.imefen.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
28	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1 %
29	Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo



M.Sc. Alcoser Torres, Felix Enrique

Asesor

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPITULO I.....	19
I. INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO II.....	20
II. ESTADO DEL ARTE.....	20
2.1. ANTECEDENTES.....	20
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA	22
2.3.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.....	23
2.4. CICLO HIDROLÓGICO	25
2.5. PRECIPITACIÓN.....	25
2.5.1. TIPOS DE PRECIPITACIONES.....	26
2.5.2. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	27
2.6. MODELOS HIDROLÓGICOS	28
2.7. ANÁLISIS DE TORMENTA	30
2.7.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA TORMENTA.....	30
a) INTENSIDAD.....	30
b) DURACIÓN	31
c) FRECUENCIA	31
d) PERIODO DE RETORNO	31
2.8. CURVAS I-D-F.....	31
2.9. MÉTODOS PARA LA GENERACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS	37
2.9.1. MODELO HEC HMS - LLUVIA ESCORRENTÍA.	37
2.9.2. MÉTODO DE CREAGER.....	39
2.9.3. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO	41
CAPÍTULO III.....	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS	43
2.1. MATERIALES E INSUMOS	43
2.2. UBICACIÓN.....	44
2.2.1. UBICACIÓN GEOPOLÍTICA	44
2.2.2. UBICACIÓN GEODÉSICA.....	44

2.2.3.	UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	44
2.3.	METODOLOGÍA	45
3.3.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.3.2	DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA ANGOSTURA	45
3.3.3	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA.....	46
3.3.4	DISEÑO DE PRECIPITACIONES CON MODELOS PROBABILÍSTICOS.	49
3.3.5	CURVAS IDF MEDIANTE EL MÉTODO ILLA SENAMHI.....	49
3.3.6	MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO	49
3.3.7	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO.....	49
CAPÍTULO IV	51
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1	RESULTADOS	51
4.1.1.	DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	51
4.1.2.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
4.1.3.	CURVAS IDF MEDIANTE EL MÉTODO ILLA SENAMHI	57
4.1.4.	MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO.....	60
4.1.5.	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO	61
V.	DISCUSIÓN.....	66
VI.	CONCLUSIONES.....	68
VII.	RECOMENDACIONES.....	69
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
IX.	ANEXOS	73

Índice de tablas

Tabla 1 : Valores de n y a para diferentes zonas del territorio nacional.....	36
Tabla 2 : Coeficientes del proyecto ILLA para diferentes zonas del Perú	36
Tabla 3 : Relación entre cobertura vegetal y condición hidrológica.....	38
Tabla 4 : Grupos de suelo y Características de escorrentía	38
Tabla 5 : Clasificación hidrológica de los suelos.....	38
Tabla 6 :Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura.....	39
Tabla 7 : Coeficientes y exponentes para las regiones hidráulicas del Perú.....	40
Tabla 8 : Regiones y cuencas integrantes.....	41
Tabla 9 : Coeficientes de escorrentía método racional	42
Tabla 10 : Análisis de correlación de estaciones virtuales	53
Tabla 11 : Área ponderada en las estaciones virtuales.....	54
Tabla 12 Resultados logarítmicos de precipitaciones máximas para prueba de datos dudosos	55
Tabla 13 : Prueba de datos dudosos.....	56
Tabla 14 : Precipitaciones con modelos probabilísticos.....	56
Tabla 15 : Precipitaciones de diseño para duraciones menores a 24 horas (mm)	58
Tabla 16 : Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas (mm/hr)	58
Tabla 17 : Método de bloque alterno para un Tr 50 años	60
Tabla 18 : Parámetros usados en la modelación con Hec-Hms.....	62
Tabla 19 : Caudales Máximos para periodos de Retorno con la Modelación Hec-Hms ...	62
Tabla 20 : Parámetros usados en el método de Creager.....	63
Tabla 21 : Caudales Máximos para periodos de Retorno con el Método de Creager	63
Tabla 22 : Intensidades para diferentes periodos de Retorno.....	64
Tabla 23 : Variables correspondientes al método racional modificado.....	64
Tabla 24 : Caudales Máximos para Periodos de Retorno con el Método Racional Modificado	65
Tabla 25 : Valores referenciales para Áreas de Cuencas.....	94
Tabla 26 : Valores referenciales para Factor de Forma	94
Tabla 27 : Valores Referenciales para Coeficiente de Masividad.	95

Tabla 28 : Valores Referenciales para Densidad de Drenaje.	95
Tabla 29 : Valores referenciales para Índice de compacidad o Coeficiente de gravilius	95
Tabla 30 : Valores Referenciales para Pendiente de la Cuenca.	95
Tabla 31 : Valores Referenciales para Pendiente del Cauce	96

Índice de figuras

Figura 1 : Ciclo hidrológico	25
Figura 2 : Precipitación orográfica	26
Figura 3 : Precipitación convectiva	26
Figura 4 : Precipitación ciclónica o frontal.....	27
Figura 5 : Pluviómetro	27
Figura 6 : Pluviógrafo	28
Figura 7 : Modelo agrupado en una cuenca	29
Figura 8 : Modelo distribuido en una cuenca	30
Figura 9 : Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.....	32
Figura 10 : Generación de producto grillado Pisco	33
Figura 11 : Zonas y sub zonas pluviométricas del proyecto ILLA SENAMHI	34
Figura 12 : Regionalización en el Perú	35
Figura 13 : Regiones homogéneas.....	35
Figura 14 : Regiones hidráulicas del Perú	40
Figura 15 : Ubicación política	44
Figura 16 : Flujograma de delimitación en ArcGIS.....	45
Figura 17 : Flujograma para el tratamiento de información hidrometeorológica.....	46
Figura 18 : Parámetros morfológicos de la subcuenca Angostura	52
Figura 19 : Análisis visual de precipitaciones máximas	53
Figura 20 : Determinación de coeficientes regionales	57
Figura 21 : Curva IDF para diferentes periodos de retorno.....	59
Figura 22 : Hietograma de precipitación para un Tr 50 años	61
Figura 23 : Modelamiento en software Hec-Hms	61
Figura 24 : Obtención del modelo digital de elevación.....	73
Figura 25 : Corrección del DEM con la herramienta FILL	73
Figura 26 : Creación de flow direction y flow accumulation	74
Figura 27 : Creación del punto de desfogue.....	74
Figura 28 : Delimitación de la Subcuenca Angostura con la herramienta watershed	74
Figura 29 : Procesamiento de Precipitación diaria.....	75
Figura 30 : Creación de estaciones virtuales	75
Figura 31 : Ubicación de estaciones virtuales.....	76
Figura 32 : Área ponderada de cada estación virtual.....	77

Figura 33 : Interfaz del software R studio	78
Figura 34 : Análisis visual grafico	79
Figura 35 : Análisis de correlación.....	82
Figura 36 : Análisis de doble masa.....	83
Figura 37 : Prueba de datos dudosos.....	83
Figura 38 : Modelos probabilísticos	84
Figura 39 : Hietogramas para diferentes periodos de retorno	85
Figura 40 : Creación de un proyecto.....	87
Figura 41 : Definición del modelo de cuenca.....	87
Figura 42 : Creación del elemento Subbasin (subcuenca) y Sink (aforo).....	87
Figura 43 : Información del Elemento Subbasin	88
Figura 44 : Creación de Componente Time Series Data Manager.....	88
Figura 45 : Información del elemento Pluviógrafo (Tr 50 años).....	88
Figura 46 : Creación de componente Meteorologic Model Manager	89
Figura 47 : Información de componente meteorologic model manager.....	89
Figura 48 : Creación de componente Control Specifications Manager.....	89
Figura 49 : Información de componente Control Specifications Manager	90
Figura 50 : Creación de la Simulación Con Hec-Hms.....	90
Figura 51 : Resultados de simulación.....	90
Figura 52 : Hidrograma para un TR 2.....	91
Figura 53 : TR Hidrograma para un 5 Años	91
Figura 54 : Hidrograma para un TR 10 Años	91
Figura 55 : Hidrograma para un TR 20 Años	92
Figura 56 : Hidrograma para un TR 25 Años	92
Figura 57 : Hidrograma para un TR 50 Años	92
Figura 58 : Hidrograma para un TR 100 Años	93
Figura 59 : Hidrograma para un TR 200 Años	93
Figura 60 : Hidrograma para un TR 500 Años	93
Figura 61 : Hidrograma de caudales.....	94
Figura 62 : Desembocadura de la Quebrada Cabuyal en el Rio Tumbes (Estiaje)	96
Figura 63 : Investigador rumbo al sector el Caucho.....	97
Figura 64 : Zona tipo bosque en la subcuenca Angostura	97

RESUMEN

Los estudios hidrológicos son muy importantes para el desarrollo de proyectos hidráulicos, por lo tanto, está directamente relacionada con la Gestión y Manejo de los Recursos Hídricos. En ese sentido, el presente trabajo de investigación se orienta en la estimación de los caudales máximos en la subcuenca Angostura, mediante la determinación de los parámetros de precipitación escurriente. Esto a raíz de la escasa y/o nula información meteorológica e hidrométrica dentro del área en estudio, para lograr el objetivo principal de la investigación, se realizó el desarrollo de métodos estadísticos, tales como: la descarga de información del producto Grillado correspondiente al estudio PISCO v 2.1 (precipitación diaria), realizando el análisis estadístico de la precipitación máxima en 24 horas, mediante las pruebas de correlación, doble masa, datos dudosos. Además, se utilizó la metodología del estudio ILLA – SENAMHI-UNI para la obtención de las curvas intensidad duración y frecuencia. Finalmente se realizó la estimación de caudales máximos aplicando la modelación hidrológica en Hec-Hms, método Racional Modificado y método de Creager. Concluyéndose que los caudales obtenidos en el programa Hec-Hms, muestran similitud con los dos métodos antes mencionados.

Palabras claves: PISCO v 2.1, precipitación máxima, ILLA – SENAMHI-UNI, Hec-Hms.

ABSTRACT

Hydrological studies are very important for the development of hydraulic projects, therefore it maintains a direct relationship with the management of water resources. In this sense, the present research work is oriented towards the estimation and validation of the parameters that make it possible to obtain maximum flood flows in the Angostura basin. This, due to the scarce and/or null meteorological and hydrometric information within the basin under study, for the development of the investigation a series of methodological and statistical processes were applied, such as: the information of the gridded data of daily precipitation of the PISCO v 2.1 study, where the statistical analysis of the maximum precipitation in 24 hours was carried out, through the homogeneity tests. In addition, the duration-frequency curve model of the ILLA – SENAMHI-UNI study was used. For the evaluation, a frequency analysis was carried out using the Log Normal probability distributions of 2 Parameters, Log Normal of 3 Parameters, Log Pearson Type III and Gumbel for various return periods. The information obtained was contrasted with the methods of graphical analysis, least squared error and Smirnov - Kolmogorov.

Keywords: PISCO v 2.1, maximum precipitation, ILLA – SENAMHI-UNI, Hec-Hms.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los trabajos de investigación en el área de hidrología son muy importantes para el adecuado dimensionamiento de las obras hidráulicas. Para calcular los caudales máximos en cuencas con escasa información, se requiere de un análisis de la precipitación, el cual es una de las variables climatológicas más importantes para los estudios hidrológicos, como son; las caracterizaciones hidroclimatológicas (inundaciones y sequías).

En el Perú, la escasez de estaciones meteorológicas representa uno de los problemas más restrictivos para el desarrollo de estudios hidrológicos. Ante ello, SENAMHI en el año 2016 presentó un producto grillado de precipitación diaria denominado “PISCO” (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations). Según la DHI (Dirección General de Hidrología), actualmente la data Grillada PISCO es utilizada para la estimación de caudales en cuencas con escasa información meteorológica.

Por lo expuesto, el presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo: Estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en la subcuenca Angostura mediante el análisis de las precipitaciones diarias usando la data Grillada Pisco, comprendido entre el periodo de 1981 – 2016. Para lograr al objetivo general se plantearon cuatro objetivos específicos tales como: Determinar las características geomorfológicas en la subcuenca Angostura, realizar el análisis estadístico en datos de precipitación, obtener las curvas IDF utilizando el método ILLA SENAMHI en la subcuenca Angostura, estimar y comparar los caudales máximos de diseño obtenidos en la modelación hidrológica Hec Hms, método Racional Modificado y Creager.

CAPITULO II

II. ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad existen metodologías que permiten conocer los caudales máximos en cuencas que presentan un déficit en cuanto a estaciones hidrométricas. Sin embargo, al no existir gran número de estaciones en las cuencas del Perú y en especial en la región Tumbes, se opta por buscar alternativas que permitan estimar los caudales máximos; a continuación, se describen investigaciones relacionadas al tema en estudio.

En el ámbito internacional. Gómez, M. (2010) en su tesis “Estimación de caudales de diseño en eventos extremos de precipitación a partir de la información disponible en Bolivia”. El principal objetivo fue emplear una metodología que permita estimar los caudales de máximas avenidas, con el uso de imágenes grilladas del satélite Tropical Rainfall Measuring Mision (TRMM). Esta investigación resultó clave para desarrollar la tesis en la subcuenca Angostura.

Bermeo, León Y López (2018). En su tesis “Estimación de los Caudales Máximos y caracterización morfométrica de la Sub cuenca del cauce en el sector Hidrodependiente del Municipio de San Francisco – Cundinamarca”, menciona al no existir una estación que permita medir el flujo de agua en la subcuenca, los caudales máximos obtenidos no pueden ser calibrados.

A nivel nacional, Paredes, R. (2015) en su investigación “Generación de intensidades de precipitación máxima en estaciones sin información pluviográfica” (Cuenca del Rio Illpa–Puno). Nos menciona que “se realizaron diversos análisis estadísticos, tales como: pruebas de homogeneidad, análisis de frecuencia mediante las distribuciones de probabilidad con la finalidad de obtener las curvas IDF”.

Carmona, A. (2019). En su investigación "Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo", nos indica que "los datos Grillados de PISCO v2.1, las distribuciones probabilísticas y las curvas IDF se logró generar las precipitaciones máximas diarias a diferentes tiempos de retorno para las áreas representadas 16 puntos de control a lo largo del cauce principal de río Biabo".

A nivel Regional, PEBPT, (1979). En su estudio "Características Físicas Cuenca Piloto Quebrada de la Angostura", menciona que el área de la cuenca es 18 697 km².

Palmer, G. (2020). En su tesis "Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes". En el cual, menciona que:

La investigación se realizó a "nivel de cuenca Puyango – Tumbes y a nivel de subcuencas. Realizando la modelación hidrológica y posteriormente el desarrolló en GIS y HEC-RAS con datos PISCO". Finalmente, en un resultado para la cuenca angostura, concluye que: "Los caudales en m³/s para los tiempos de retorno de 25, 50, 100, 1000 fueron de 140.0 m³/s , 518.0 m³/s , 656.0 m³/s , 1139.0 m³/s respectivamente".

En el ámbito local, Atoche, M.G.; y Alemán, W.J. (2019); en su tesis "Estimación de Caudales Máximos en Cuencas Secas y Aplicación en Diseños de obras de defensas ribereñas: Caso Quebrada Angostura, Tumbes 2019", al término de su investigación obtiene un caudal de diseño promedio (Método Racional Modificado y Creager) de 802.17 m³/seg para un periodo de retorno de 50 años

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

HIDROLOGÍA

Es la ciencia que se encarga de estudiar el recurso hídrico en todas sus características y ocurrencias en el planeta tierra.

PRECIPITACIONES

Según Chávez, (2009): Las precipitaciones son condensaciones masivas que se convierten en lluvia, contribuyendo a un fenómeno hidrológico de suma importancia para la vida en la tierra.

MODELO HIDROLÓGICO

Chow et ál, (1994), “es la aproximación al sistema real; sus entrantes y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y salidas”. (p.8)

PERÍODO DE RETORNO

Villon, (2002), “es el intervalo de tiempo, dentro del cual un evento de magnitud Q puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio”. (p.21)

HIDROGRAMA

Villon, (2002), “es una representación gráfica de la variación del caudal con respecto al tiempo arregladas en orden cronológico y pueden ser representados en hidrogramas de un pico y varios picos”. (p.195).

HIETOGRAMA

Es la representación gráfica de la distribución de la intensidad de la lluvia con respecto al tiempo.

2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA

Villón Béjar, (2002) “Es el área del terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua”. (p.21)

2.3.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA

Para todo estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se hace uso de información cartográfica y topografía. Toda cuenca debe estar delimitada para conocer su área, longitud de la cuenca, perímetro, pendiente promedio de la cuenca, curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas, altura y elevación promedio, pendiente promedio del cauce principal, etc.

A. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Para delimitar una cuenca es necesario demarcar la línea divisoria de aguas conocida como Divortium aquarum, y con ello definir las alturas del área.

B. ÁREA DE UNA CUENCA

Se refiere a la extensión total de una cuenca hidrográfica y constituye uno de los parámetros fundamentales para conocer la geomorfología de la misma.

C. PERÍMETRO DE UNA CUENCA

Campomanes, (2015); “es la longitud de la línea divisoria de aguas en la cuenca, es un parámetro esencial, pues en relación con el área nos indica la forma de la cuenca”. (p.21)

D. FACTOR DE FORMA DE UNA CUENCA

Se encuentra directamente relacionado con el ancho promedio de la cuenca y su longitud.

$$F = \frac{\textit{ancho}}{\textit{longitud}}$$

E. ÍNDICE DE COMPACIDAD (COEFICIENTE DE GRAVELIOUS)

Villon, (2002) “relación entre el área de influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía”. (p.42)

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: perímetro (km)

A: área (km²)

F. PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL

Indica la diferencia de alturas entre el punto donde se origina el cauce y el punto de salida del mismo.

$$j = \frac{h}{l}$$

Donde:

h: Desnivel entre la cota donde se origina el cauce y el punto de desfogue. (Km)

l: Longitud del cauce principal (Km)

G. PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA

Este parámetro es muy importante ya que es un indicador de la velocidad media de escorrentía dentro de la cuenca y su capacidad de resistencia y erosión.

H. CURVA HIPSOMÉTRICA

Villón, M. (2002). "es la curva que, puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda por debajo de dicha altitud" (p. 34). La curva hipsométrica nos indica en que fase de erosión se encuentra una cuenca, ya sea en fase A "inicio de proceso erosivo" fase B "equilibrio erosivo", fase C "cuenca sedimentada".

2.4. CICLO HIDROLÓGICO

Villon (2002), “es el conjunto de cambios que experimenta el recurso hídrico en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (p.16).

Presenta cuatro fases principales, entre ellas tenemos: evaporación, condensación, precipitación y escorrentía.

Figura 1 : Ciclo hidrológico



Fuente: Significados del agua.

2.5. PRECIPITACIÓN

Villón (2002), afirma que la precipitación es toda forma de humedad originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo.

Según Chow et ál, (1994): La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca.

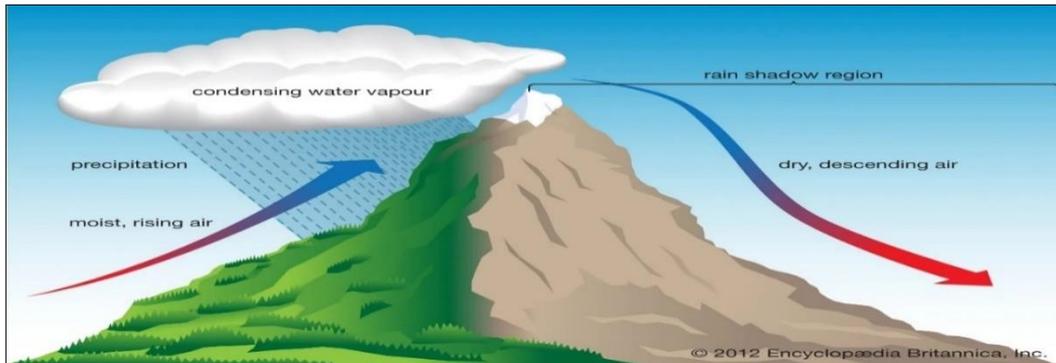
Para que se produzca la formación de precipitación requiere la altura de una masa de agua en la atmósfera con la finalidad que se enfríe y parte de su humedad se condense. Chow et ál, (1994) describe los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire: La elevación frontal, la elevación orográfica, y la elevación convectiva.

2.5.1. TIPOS DE PRECIPITACIONES

a) OROGRÁFICA

El motivo para que se produzca este tipo de precipitación es por la subida del aire cálido hacia las montañas. Originando que la masa de agua se condense y produzca la precipitación.

Figura 2 : Precipitación orográfica

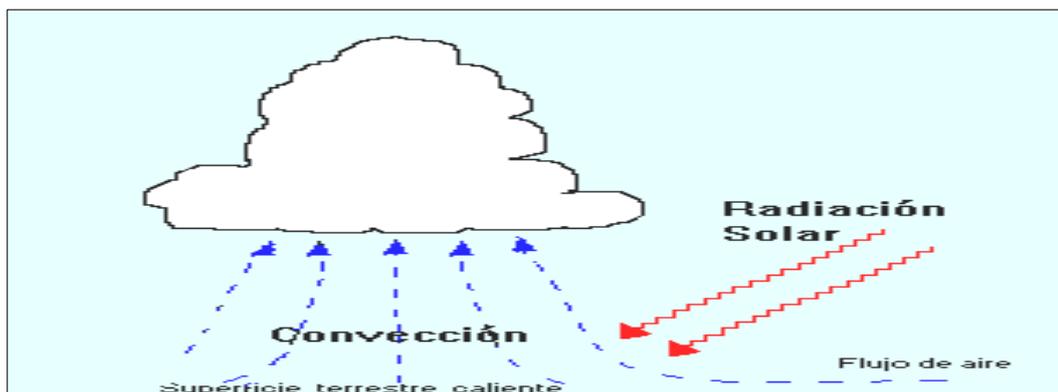


Fuente: Delphipages.live

b) CONVECTIVA

Se producen cuando el aire caliente y húmedo asciende por convección y, al enfriarse, originan nubes en desarrollo vertical que pueden provocar precipitaciones de tipo borrascoso. Típicas de latitudes cálidas.

Figura 3 : Precipitación convectiva



Fuente: ccsslavera. blogspot

c) CICLÓNICA O FRONTAL

Este tipo de precipitación es común en zonas donde las latitudes son templadas, se origina un encuentro de nubes de desiguales temperaturas: las más calientes son impulsadas hacia las partes más altas donde producen la precipitación.

Figura 4 : Precipitación ciclónica o frontal



Fuente: slideshare

2.5.2. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Para expresar la cantidad de agua que cae en un determinado lugar, debe medirse en altura de lámina de agua (hp), y se define en mm (milímetros). Para lo cual se disponen de los siguientes instrumentos de medición. Villón (2002).

PLUVIÓMETRO

Es un instrumento destinado a medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y tiempo determinados; las unidades de medición se dan en milímetros.

Figura 5 : Pluviómetro



Fuente: Meteorología en red.

PLUVIÓGRAFO

Tiene por finalidad registrar en un gráfico la cantidad de agua caída en un periodo de tiempo determinado, esto es muy importante porque permite conocer la distribución e intensidad de las lluvias, información fundamental para el diseño de obras hidráulicas.

Figura 6 : Pluviógrafo



Fuente: Meteorología en red.

2.6. MODELOS HIDROLÓGICOS

Los modelos de cuenca son un reflejo de cómo entendemos el sistema cuenca y su respuesta. Su capacidad predictiva depende de cómo los construimos y cómo los aplicamos.

Cabrera, J (2012). “no existe el modelo perfecto aplicable a todas las cuencas del planeta: cada cuenca tiene condiciones muy particulares de clima, geografía, geología, etc que incrementan la importancia de un proceso por sobre otros y condicionan la estructura del modelo.” (p.1). En la actualidad existen diversas formas de clasificar los modelos hidrológicos. Sin embargo, se mencionan dos características esenciales para la modelización hidrológica de cuencas:

**a) DE ACUERDO A LA CONCEPTUALIZACIÓN.
EMPÍRICOS**

Presentan la relación de ingreso y salida de información, sin pretender representar los procesos meteorológicos dentro de la cuenca. Entre los métodos que componen dicho parámetro, podemos mencionar método de Kostiakov (utilizado para estimar la infiltración), método racional y método del número de curva (utilizado para la estimación de caudales).

CONCEPTUALES

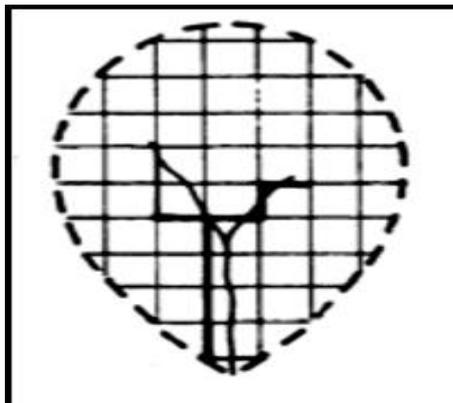
La principal característica de estos modelos es que representan mediante ecuaciones físicas los procesos meteorológicos involucrados de manera directa en la cuenca. Sin embargo, generan incertidumbre por la escasa información concerniente al parámetro de suelo, subsuelo, vegetación, etc.

DE ACUERDO A SU REPRESENTACIÓN ESPACIAL

AGRUPADOS

Este tipo de modelo asume que el área de una cuenca es uniforme. No obstante, dicha afirmación es válida para subcuencas.

Figura 7 : Modelo agrupado en una cuenca

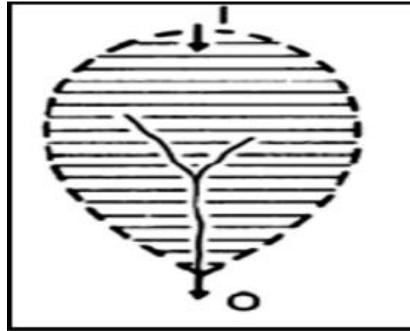


Fuente: Chong-yu Xu, 2002.

DISTRIBUIDOS

Este modelo alcanza mayor representatividad, debido a que divide a la cuenca en pequeños cuadrículas, denominadas “Grillas”. Estos modelos son llamados modelos distribuidos y realizan un balance hídrico en cada grilla, transmitiendo su efecto a las grillas adyacentes.

Figura 8 : Modelo distribuido en una cuenca



Fuente: Chong-yu Xu, 2002.

2.7. ANÁLISIS DE TORMENTA

Villón (2002), “está asociado a los cálculos o estudios preliminares que involucran el diseño de obras hidráulicas”. Entre las principales tenemos:

- a) Estudio de drenaje.
- b) Determinación de caudales máximo
- c) Determinación de la luz de un puente
- d) Conservación de suelos
- e) Cálculo de los diámetros de alcantarillas

2.7.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA TORMENTA

a) INTENSIDAD

Se encuentra directamente relacionada con la cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo. Su unidad de medición es en mm/h y su valor varía durante la tormenta. Villón, (2002)

b) DURACIÓN

Corresponde al tiempo que transcurre entre el inicio y el fin de una tormenta. Se mide en minutos o en horas. Villón, (2002)

c) FRECUENCIA

Esta asociada al número de veces que se repite una determinada tormenta, con características de intensidad y duración definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, generalmente dado en años. Villón, (2002).

d) PERIODO DE RETORNO

Villon, (2002), describe como “el intervalo de tiempo, dentro del cual un evento de magnitud Q puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio”.(p.21)

2.8. CURVAS I-D-F

Las curvas intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. MTC –(2009).

La intensidad se selecciona con base en la duración de lluvia, y el período de retorno. Villón Béjar, (2002).

$$i = \frac{P}{Td}$$

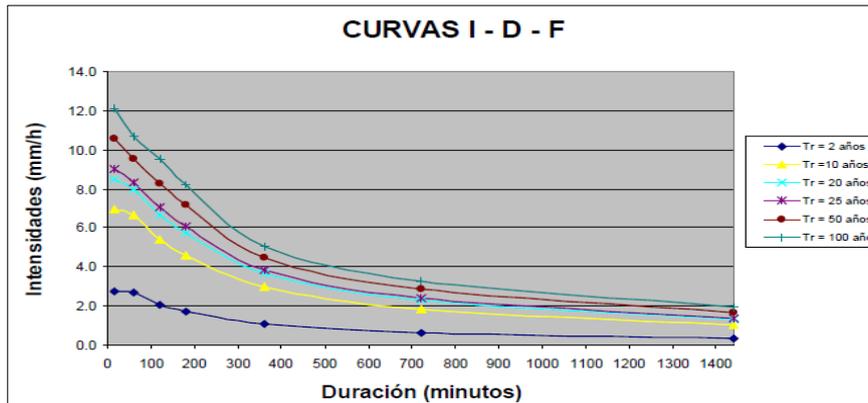
Donde

P: Profundidad de lluvia (mm)

Td: Duración (horas)

La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T.

Figura 9 : Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia



Fuente: manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC – 2009).

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Vélez, (2000) “es uno de los parámetros más importantes en los modelos precipitación - escorrentía, pues la duración de la tormenta de diseño se define con base en el”. (p.254).

TÉMEZ

$$Tc = 0.3 \left(\frac{Lc}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Tc: Tiempo de concentración en horas.

LC: Longitud del cauce principal en km.

S₀: Pendiente promedio del cauce principal (%)

BASE DE DATOS PISCO

La base de datos PISCO (Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), fue creada con la finalidad de obtener información espacial procesada y validada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En 2014, el Perú obtuvo la primera base grillada de información espacial correspondiente a precipitación mensual, con una serie de tiempo desde enero de 1981 hasta la actualidad, facilitando a los técnicos y profesionales a tener mayor disponibilidad en cuanto a datos de precipitación.

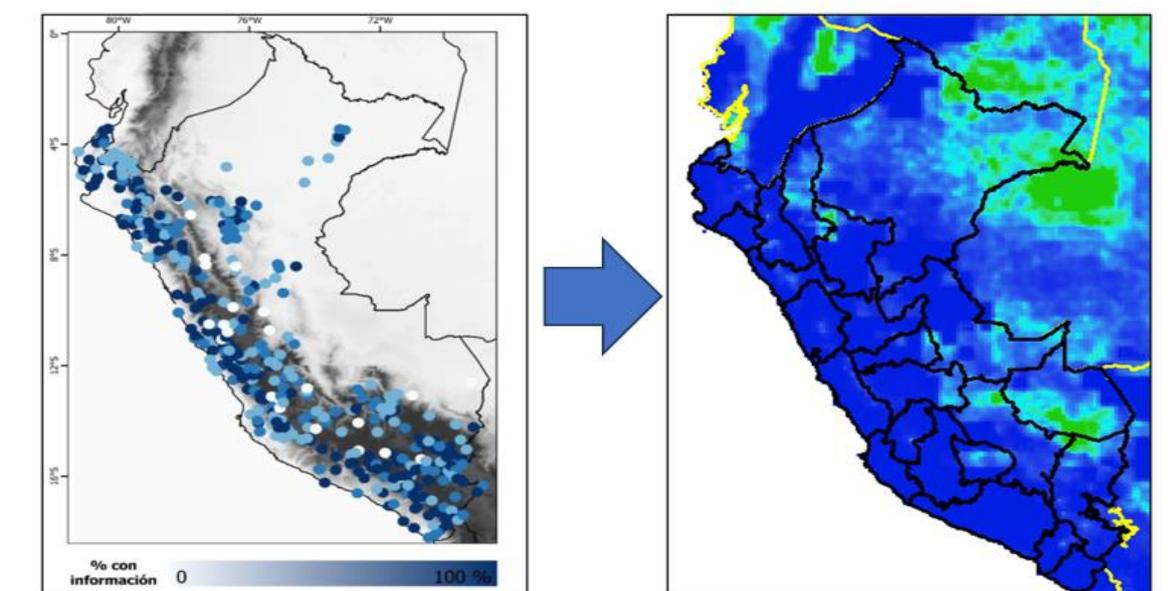
En el año 2016, se generó el producto Grillado PISCO en su versión 2.1 (precipitación diaria). Actualmente representa un insumo principal en la calibración de modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía, elaboración de los productos del Sistema de Observación de Inundaciones del SENAMHI (SONICS).

METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE PISCO

Para obtener la data Grillada PISCO en formato NETCDF, correspondiente a precipitación diaria (PISCOpd) y precipitación mensual (PISCOpm) el proceso utilizado se dividió en 3 etapas:

- 1. Control de calidad de la información pluviométrica.**
- 2. Análisis exploratorio (AE) de la información satelital.**
- 3. Mezcla de datos basado en técnicas geoestadísticas (mensual) y determinísticas (diario).**

Figura 10 : Generación de producto grillado Pisco



Fuente: SENAMHI- DHI (2017)

MÉTODO ILLA - SENAMI - UNI

Es un método que se crea en el año 1983 en convenio con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Instituto Italo - Latino Americano (ILLA). El estudio dividió al territorio nacional en 7 zonas y 38 sub zonas pluviométricas, con la finalidad de contar con valores específicos en precipitación e intensidad para cada zona donde se desarrolle un estudio hidrológico. SENAMHI-UNI-ILLA, (1983).

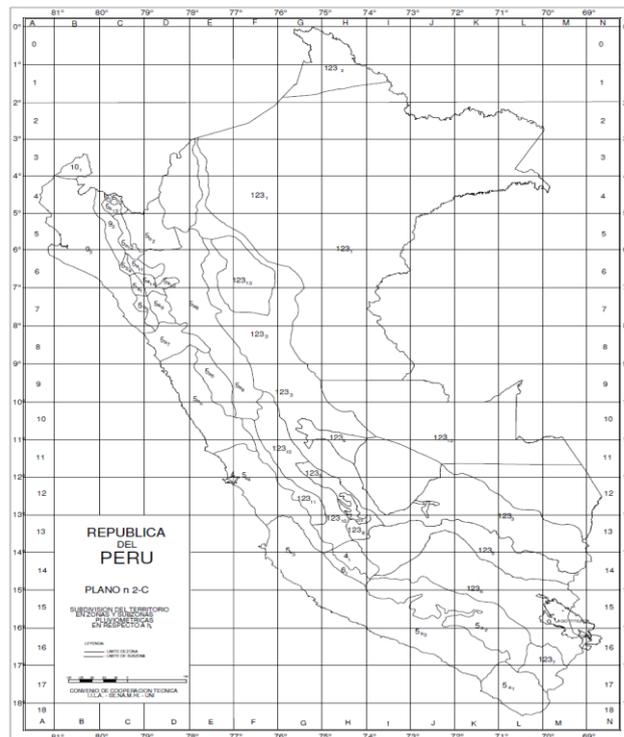
El proyecto ILLA – SENAMHI – UNI, tiene como propósito dar solución en aquellas zonas de nuestro país donde la falta de estaciones hidrológicas conlleva a la inadecuada estimación de caudales máximos. Cuando no se dispone de estaciones hidrométricas, se recurre a los datos de precipitación como valores de entrada a una cuenca y que dan como resultado un caudal Q . para ello es fundamental conocer los valores de las zonas y sub zonas pluviométricas, valores de n y a para diferentes zonas del territorio nacional, coeficientes de regionalización para diferentes zonas del Perú, etc.

Figura 11 : Zonas y sub zonas pluviométricas del proyecto ILLA SENAMHI



Fuente: ILLA-SENAMHI-UNI (1983)

Figura 12 : Regionalización en el Perú



Fuente: Hidrología del Perú IILA –UNI -SENAMHI 1983

Figura 13 : Regiones homogéneas



Fuente: (SENAMHI)

Tabla 1 : Valores de n y a para diferentes zonas del territorio nacional.

SUB ZONA	ESTACION	Nº TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 ₁	321-385	2	0.357	32.2
123 ₃	384-787-805	3	0.405	a = 37,85 - 0,0083 Y
123 ₁₃	244-193	2	0.432	
123 ₅	850-903	2	0.353	9.2
123 ₆	840-913-918 958	4	0.380	11.0
123 ₈	654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0.232	14.0
123 ₉	769	1	0.242	12.1
123 ₁₀	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0.254	a = 3,01 + 0,0025 Y
123 ₁₁	508-667-719 750-771	5	0.286	a = 0,46 + 0,0023 Y
5a ₂	935-968	2	0.301	a = 14,1 - 0,078 D _o
5a ₅	559	1	0.303	a = -2,6 + 0,0031 Y
5a ₁₀	248	1	0.434	a = 5,80 + 0,0009 Y

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Tabla 2 : Coeficientes del proyecto ILLA para diferentes zonas del Perú

Sub división del territorio en zonas y subzonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y ϵ_g que definen la distribución de probabilidades de hg en cada punto			
ZONA	K'_g	Subzona	ϵ_g
123	0.553	123 ₁	85
		123 ₂	75
		123 ₃	100 - 0.022*Y
		123 ₄	70 - 0.019*Y
		123 ₅	24
		123 ₆	30.5
		123 ₇	-2+0.006*Y
		123 ₈	26.6
		123 ₉	23.3
		123 ₁₀	6+0.005*Y
		123 ₁₁	1+0.005*Y
		123 ₁₂	75
		123 ₁₃	70
		123 ₁₅	20
		4	0.861
5a	11* $\epsilon_g^{-0.85}$	5a ₁	-7.6 + 0.006*Y ; (Y>2300)
		5a ₂	32 - 0.177*D
		5a ₃	-13 + 0.010*Y ; (Y>2300)
		5a ₄	3.8 + 0.053*Y ; (Y>1500)
		5a ₅	-6 + 0.007*Y ; (Y>2300)
		5a ₆	1.4 + 0.0067*Y
		5a ₇	-2+ 0.007*Y ; (Y>2000)
		5a ₈	24 + 0.0025*Y
		5a ₉	9.4 +0.0067*Y
		5a ₁₀	18.8 +0.0028*Y
		5a ₁₁	32.4 + 0.004*Y
		5a ₁₂	19 + 0.005*Y
		5a ₁₃	23 + 0.0143*Y
		5a ₁₄	4 + 0.0010*Y
		5b	130* $\epsilon_g^{-1.4}$
5b ₂	41		
5b ₃	23 + 0.0143*Y		
5b ₄	32.4 + 0.004*Y		
5b ₅	9.4 +0.0067*Y		
6	5.4* $\epsilon_g^{-0.8}$	6 ₁	30 - 0.5*D _o
9	22.5* $\epsilon_g^{-0.85}$	9 ₁	51.5
		9 ₂	-4.5 + 0.323*Dm (30*Dm ^{1.110})
		9 ₃	31 + 0.475*Dm
10	1.45	10 ₁	12.5 + 0.95*Dm

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.9. MÉTODOS PARA LA GENERACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

2.9.1. MODELO HEC HMS - LLUVIA ESCORRENTÍA.

Según Chow et al, (1994), En años recientes, “la modelación del proceso de lluvia-escorrentía para cuencas con escasa información ha sido una actividad muy popular y hoy en día está disponible una gran variedad de tales modelos que permiten estimar caudales.”

HIDROGRAMA UNITARIO

Es un método, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EEUU, se trata de un hidrograma originado por una precipitación de exceso, la cual es repartida de manera homogénea en toda la superficie de la cuenca.

Campos, citado por Zevallos, M, (2019), expresa que, para desarrollar el método planteado por el SCS, es el siguiente: “elaboración del hidrograma unitario, determinación de la lluvia efectiva, elaboración del hidrograma efectivo, determinación de caudal máximo.”

El método del hidrograma unitario fue desarrollado originalmente por Sherman en 1932, y está basado en las siguientes hipótesis:

- a)** Distribución uniforme. El exceso de precipitación, indica una distribución homogénea en la cuenca.
- b)** Tiempo base constante. La duración total de escurrimiento directo o tiempo base (tb) es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva.
- c)** Linealidad o proporcionalidad. Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, es decir, al volumen total de lluvia efectiva.
- d)** Superposición de causas y efectos. El hidrograma resultante para un tiempo de lluvia dado puede superponerse

CONDICIÓN HIDROLÓGICA

Tabla 3 : Relación entre cobertura vegetal y condición hidrológica

COBERTURA VEGETAL	CONDICIÓN HIDROLÓGICA
>75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50 % del área	Pobre

Fuente: Instituto tecnológico de Costa Rica-CRRH

GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO

Tabla 4 : Grupos de suelo y Características de escorrentía

GRUPOS	CARACTERÍSTICA DEL SUELO
GRUPO A	Tiene bajo potencial de escorrentia
GRUPO B	Tiene un moderado a bajo potencial de escorrentia
GRUPO C	Tiene un moderado a alto potencial de escorrentia
GRUPO D	Tiene un alto potencial de escorrentia

Fuente: Instituto tecnológico de Costa Rica-CRRH

DESCRIPCIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

Tabla 5 : Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de suelos	Descripcion
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de espolvoreamiento suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcillas o capa de arcilla en la superficie sobre material casi impermeables. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: Instituto tecnológico de Costa Rica-CRRH

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Representan los coeficientes de escorrentía y este método se caracteriza por una serie de curvas, cada una de las cuales representa el número N, que varía de 1 a 100. Un valor de N=100, indica que toda la precipitación originada va a escurrir. En cambio, un número N=1 corresponde que toda la lluvia se infiltra. Villon, (2002)

Tabla 6 :Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura

Uso de la tierra	Cobertura		Número de Curva			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	----	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	buena	65	75	82	86
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	66	74	80	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos rectos	pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	buena	61	73	81	84
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	buena	55	69	78	83
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curv de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		pobre	68	79	86	89
		regular	49	69	79	84
		buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
Pradera		buena	30	58	71	78
Bosques		pobre	45	66	77	83
		regular	36	60	73	79
		buena	25	55	70	77
		----	59	74	82	86
Pacios		----	72	82	87	89
	Cieno	----				
Caminos, incluyendo derecho de vía		----	74	84	90	92
	Superficie firme	----				

Fuente: Instituto tecnológico de Costa Rica-CRRH

2.9.2. MÉTODO DE CREAGER

Permite estimar caudales de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno en cuencas donde no se dispone de información Hidrológica.

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \log(T) * A^{m*A^{-m}}$$

Donde:

Qmax: caudal máximo (m3/seg)

A: área de la cuenca (km2)

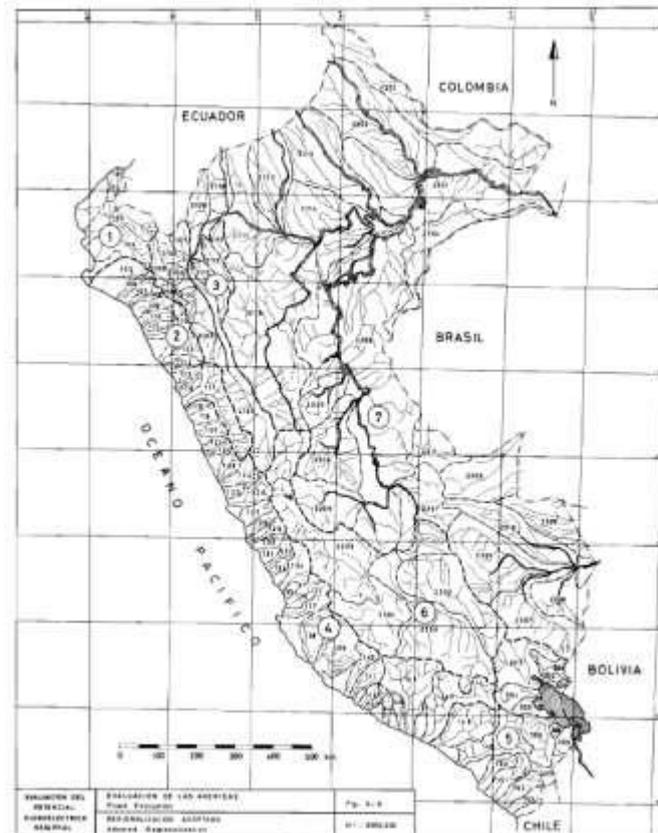
T: periodo de retorno (años)

C1, C2: coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas.

m, n: exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

REGIONES HIDRÁULICAS

Figura 14 : Regiones hidráulicas del Perú



Fuente: Trau, W., & Gutiérrez Yrigoyen, R. (1979).

COEFICIENTES Y EXPONENTES PARA LAS REGIONES HIDRÁULICAS DEL PERÚ

El territorio Nacional fue dividido en 7 Regiones Hidráulicas, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7 : Coeficientes y exponentes para las regiones hidráulicas del Perú

Región	C_1	C_2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Trau, W., & Gutiérrez Yrigoyen, R. (1979)

Tabla 8 : Regiones y cuencas integrantes

Nº	Región	Cuencas
1	Costa Norte (frontera)	Tumbes a Piura
2	Costa Norte	Cascajal a Santa
3	Sierra Norte	Alto Marañón
4	Costa Central	Lacramarca a Camaná-Majes
5	Costa Sur	Quilca a Caplina
	Titicaca	Titicaca
6	Sierra Central Sur	Mantaro, Apurímac y Urubamba
7	Selva	Ucayali, Bajo Marañón, Madre de Dios y Amazonas

Fuente: Trau, W., & Gutiérrez Yrigoyen, R. (1979).

2.9.3. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Es utilizado para calcular caudales en cuencas cuyas áreas sean menores de 770 km² y sus tiempos de concentración (Tc) varíen en un rango entre 0.25 y 24 horas.

$$Q = 0.278 * CIAK$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

K: Coeficiente de Uniformidad

Para determinar los parámetros que definen la formula general, son los siguientes:

a. Tiempo de Concentración (Tc):

$$Tc = 0.3 * \left(\frac{L}{s^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (km)

S= Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

b. Coeficiente de Uniformidad (K):

$$K = 1 + \frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14}$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración (horas)

c. Intensidad de Precipitación (I): se obtiene a través de las curvas IDF

d. Coeficiente de Escorrentía:

Tabla 9 : Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES E INSUMOS

- 1) Data grillada del producto Pisco, en formato netCDF (*Fuente: SENAMHI*)
- 2) Modelo de elevación digital (*Fuente: Alaos - Palsar*)
- 3) Información Vectorial base, en formato shapefile. (*Fuente: GEO GPS PERÚ*)

EQUIPOS

- 4) Laptop acer (CORE i5).

SOFTWARES

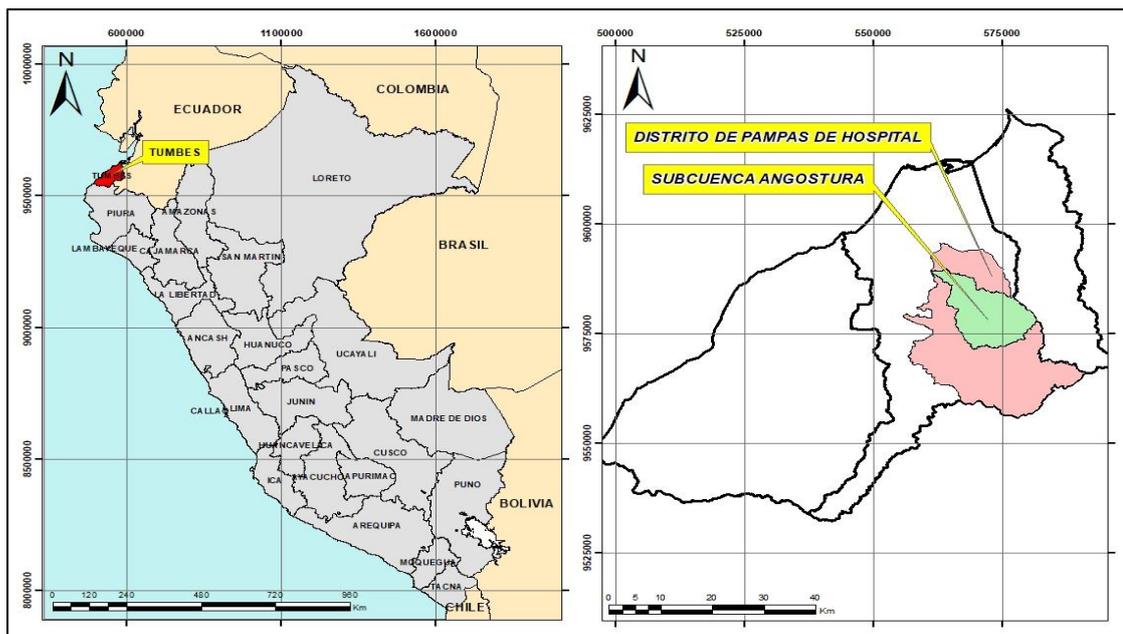
- 5) ArcGIS 10.3
- 6) Google Earth
- 7) Hec – Hms
- 8) R- Estudio.
- 9) Hidroesta 2
- 10) Excel versión 2016
- 11) Word versión 2016

2.2. UBICACIÓN

2.2.1. UBICACIÓN GEOPOLÍTICA

Región : Tumbes
Provincia : Tumbes
Distrito : Pampas de Hospital

Figura 15 : Ubicación política



2.2.2. UBICACIÓN GEODÉSICA

La extensión de la subcuenca Angostura se encuentra en las siguientes coordenadas:

1. E: 9589961.00 m N: 561053.00 m
2. E: 9589961.00 m N: 581549.00 m
3. E: 9571447.00 m N: 561053.00 m
4. E: 9571447.00 m N: 581549.00 m

2.2.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Vertiente: Pacífico

Cuenca: Tumbes

Subcuenca: Angostura

2.3. METODOLOGÍA

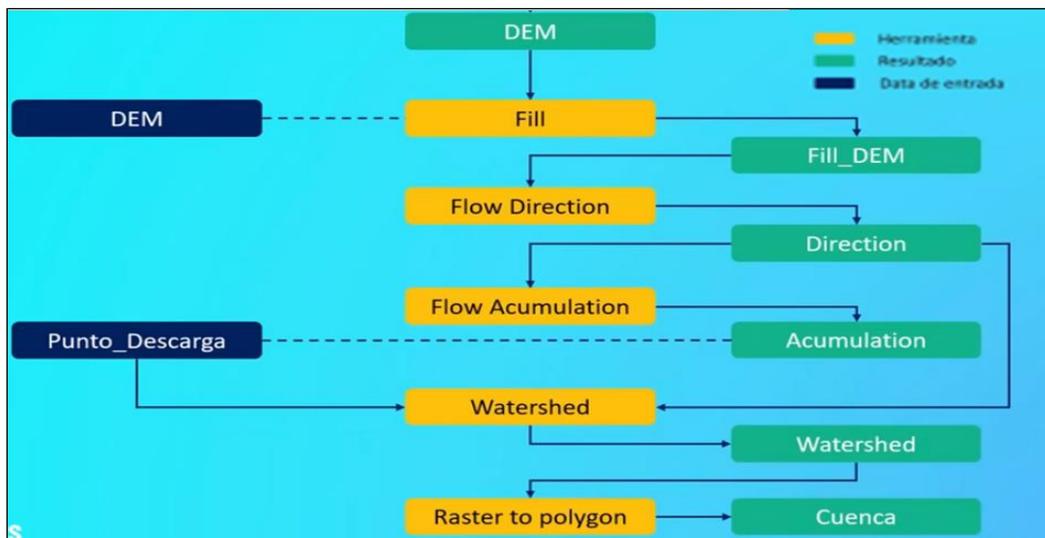
3.3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se recabó información primaria, tales como; informes y trabajos de investigación sobre la zona en estudio. Además, se recopiló los insumos como datos del producto Grillado Pisco y un modelo digital de elevación, para delimitar la subcuenca Angostura y poder extraer la data pisco referente a dicha zona.

3.3.2 DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA ANGOSTURA

Para delimitar la subcuenca Angostura se descargó un modelo de elevación digital de la plataforma ALAOS- PALSAR, con una resolución de 12,5 m x 12,5 m de pixel. A continuación, se muestra el flujograma realizado en el programa ArcGIS v10.3.

Figura 16 : Flujograma de delimitación en ArcGIS

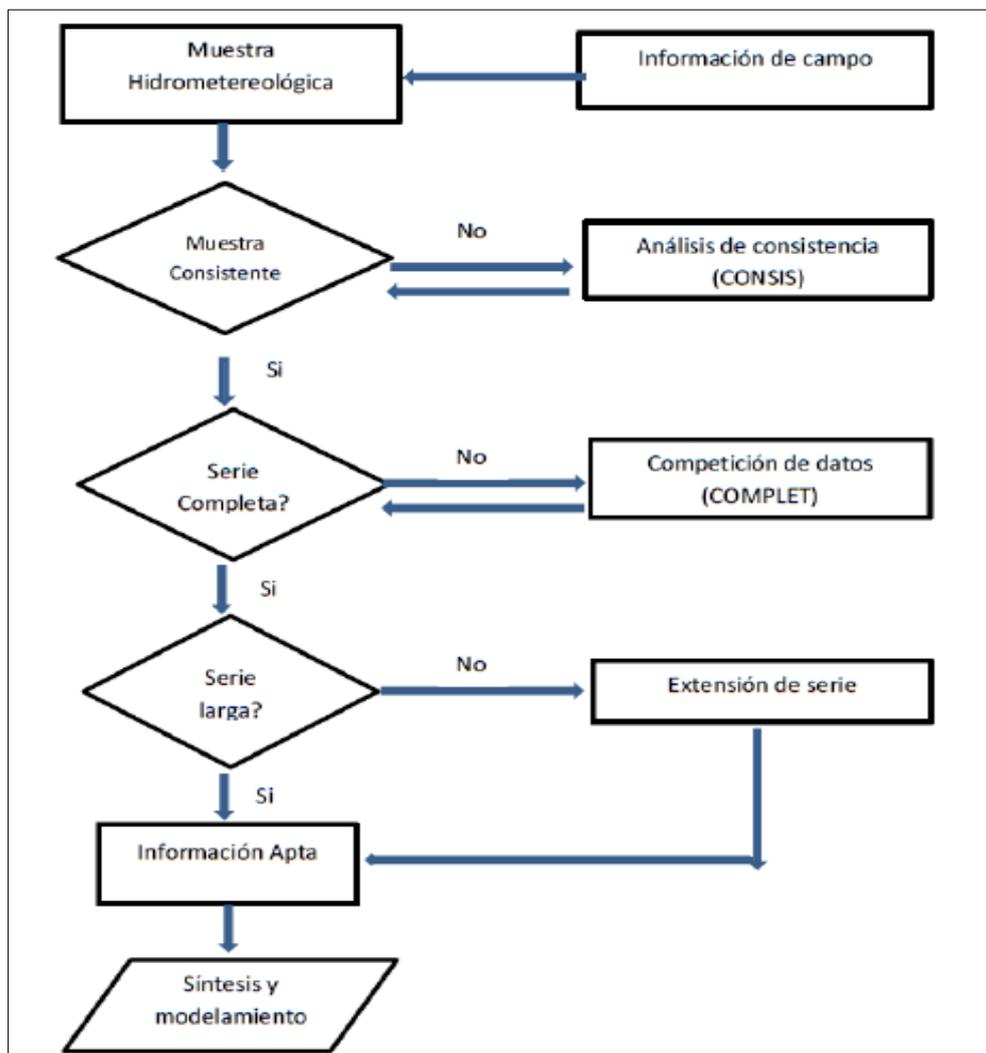


Fuente: MasterGIS

3.3.3 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Con la finalidad de usar correctamente las datas de precipitaciones diarias, es fundamental realizar análisis estadísticos para obtener información confiable. Dichos análisis se describen a continuación:

Figura 17 : Flujograma para el tratamiento de información hidrometereológica



Fuente: Lutz Scholz. (1980)

a) ANÁLISIS VISUAL GRÁFICO

Se efectuó para identificar datos anómalos y los denominados picos en las estaciones virtuales que tienen influencia directa en la subcuenca Angostura.

b) ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Se realizó el análisis con los datos de precipitación diaria de la estación el tigre y con ello conocer el nivel de confiabilidad en la información de precipitaciones diarias en cada una de las estaciones virtuales.

c) ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Se utilizó con la finalidad de visualizar posibles cambios de tendencia en cuanto a las precipitaciones de las 6 estaciones virtuales. El gráfico de doble masa permitió conocer que no existen puntos de quiebres de las estaciones virtuales en estudio.

Para elaborar este análisis, se realizó determinando la precipitación acumulada de las 6 estaciones virtuales y el promedio anual acumulado en todas las estaciones que tienen influencia en la subcuenca Angostura.

d) ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS

Se aplicó el método de Water Resources Council, para verificar que no existan datos dudosos altos y bajos en la muestra.

La siguiente ecuación puede utilizarse para detectar datos dudosos altos y bajos:

$$Yh = \bar{y} + K_n S_y \quad \text{datos dudosos altos}$$

$$Yl = \bar{y} - K_n S_y \quad \text{datos dudosos bajos}$$

Donde:

yH: Banda superior de los logaritmos de los valores de caudales o precipitaciones.

yL: Banda inferior de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

y: Media aritmética de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

Kn: Coeficiente que depende del tamaño de la muestra caudales o precipitaciones.

Sy: Desviación estándar de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

Los resultados de ambas fórmulas se substituyeron en las siguientes expresiones:

$$PH = 10^{XH}$$

$$PL = 10^{XL}$$

3.3.4 DISEÑO DE PRECIPITACIONES CON MODELOS PROBABILÍSTICOS

Con el propósito de determinar las precipitaciones máximas, se empleó las distribuciones probabilistas (Normal, log normal 2 parámetros, log normal 3 parámetros, gamma de 2 parámetros, gamma de 3 parámetros, log person tipo 3, Gumbel, log Gumbel) y la prueba de “Kolmogorov – Smirnov”, el cual nos indica que método probabilístico presenta alto ajuste en función al menor delta teórico. Todo el proceso mencionado, fue desarrollado en el software Hidroesta 2.

3.3.5 CURVAS IDF MEDIANTE EL MÉTODO ILLA SENAMHI

Se utilizó el estudio realizado por el “ILLA – SENAMHI – UNI”, teniendo en cuenta la ubicación de la subcuenca Angostura, altitud media, y los parámetros de intensidad de precipitación para la Región Tumbes.

3.3.6 MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

Es un método que permite graficar un hietograma de precipitación en función de la intensidad – duración y frecuencia para diferentes periodos de retorno.

3.3.7 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO

MODELACIÓN HIDROLÓGICA USANDO HEC HMS

Utilizando los hietogramas de precipitación obtenidos con el método de bloque alterno, el siguiente paso fue exportar los datos en el software Hec-Hms 4.9. Aplicando los parámetros, tales como; área de la subcuenca Angostura (km²), valor del número de curva, hidrograma unitario, tiempo de retraso (minutos).

MÉTODO DE CREAGER

Para la aplicación de este método fue necesario ubicar la Región Hidráulica del departamento de Tumbes, con la finalidad de obtener los coeficientes adimensionales C_1 , C_2 , m y n . Por otra, se utilizó el área de la subcuenca Angostura en km^2 y el Tiempo de retorno.

MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Para aplicar este método fue esencial obtener previamente la información de: extensión en km^2 de la subcuenca, distancia y pendiente del cauce principal; debido que con los parámetros mencionados se logra determinar los valores de tiempo de concentración y coeficiente de uniformidad; Por otra parte, se usó la intensidad de precipitación obtenida de las curvas IDF.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

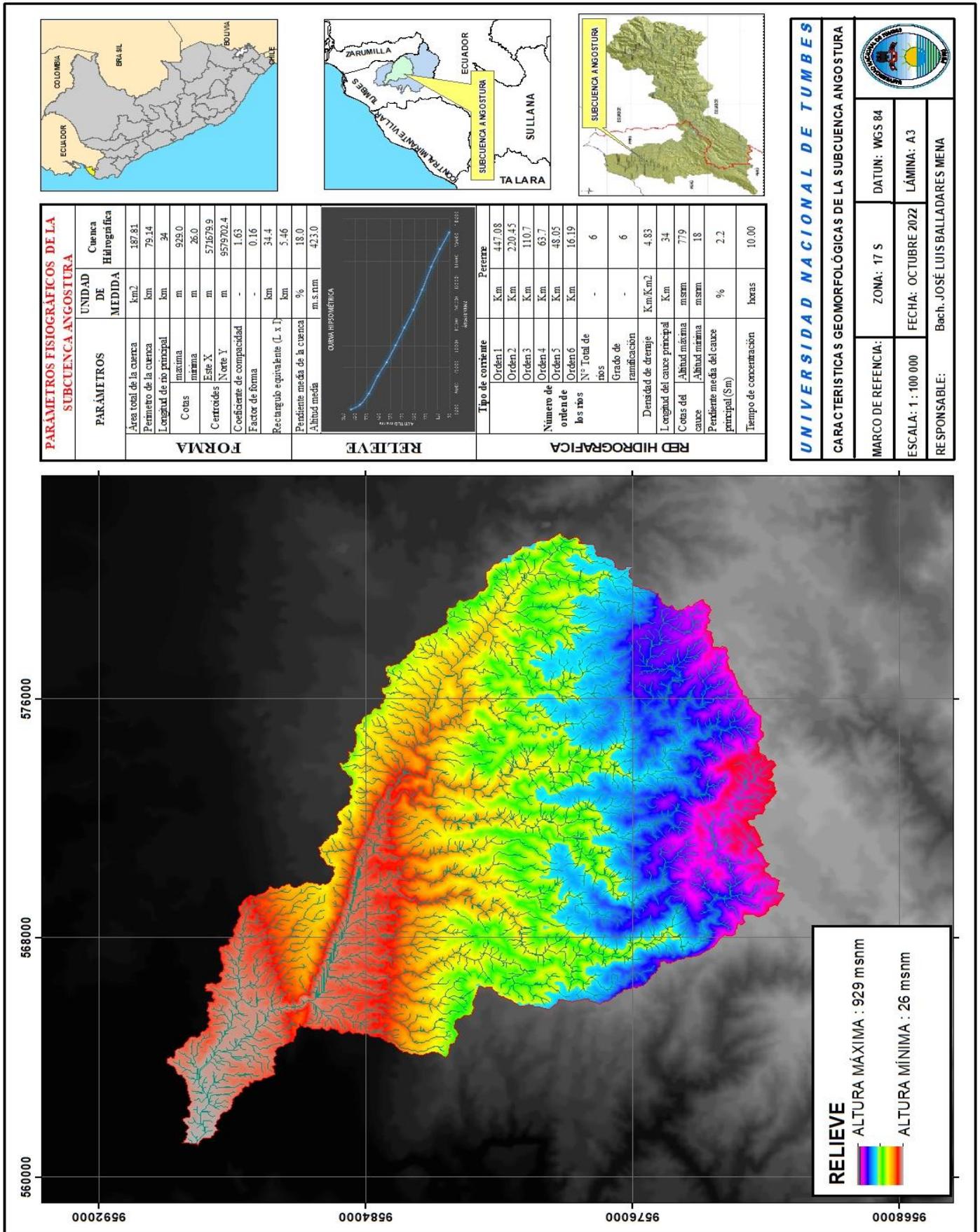
4.1.1. DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los resultados respecto a la delimitación fueron los siguientes

- La subcuenta Angostura tiene un área de 187.81 km² y un perímetro de 79.14 km, clasificándose como subcuenta según la tabla N°25.
- El factor de forma (Kf), de la subcuenta es 0.16, lo cual indica que su forma es muy poco achata según la tabla N° 26. Así mismo, tiene un coeficiente de Gravelius (Kc=1.63), según la tabla N° 29 se trata de una subcuenta Oblonga o Rectangular alargada. Además, presenta una cota de 929 msnm en la parte alta y 26 msnm en su parte baja.
- Presenta una distancia del cauce principal de 34 Km con una pendiente promedio del 2%, clasificada como suave según la tabla N° 31. En ese mismo sentido, posee un coeficiente de masividad de 0.0022 indicando según la tabla N° 27 que se trata de una subcuenta muy montañosa de tipo bosque. Por otra parte, presenta una densidad de drenaje baja con valor de 4.83 1/Km.

A continuación, se presenta un mapa de la delimitación de la subcuenta con sus parámetros morfométricos respectivos.

Figura 18 : Parámetros morfológicos de la subcuenca Angostura



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA SUBCUENCA ANGOSTURA

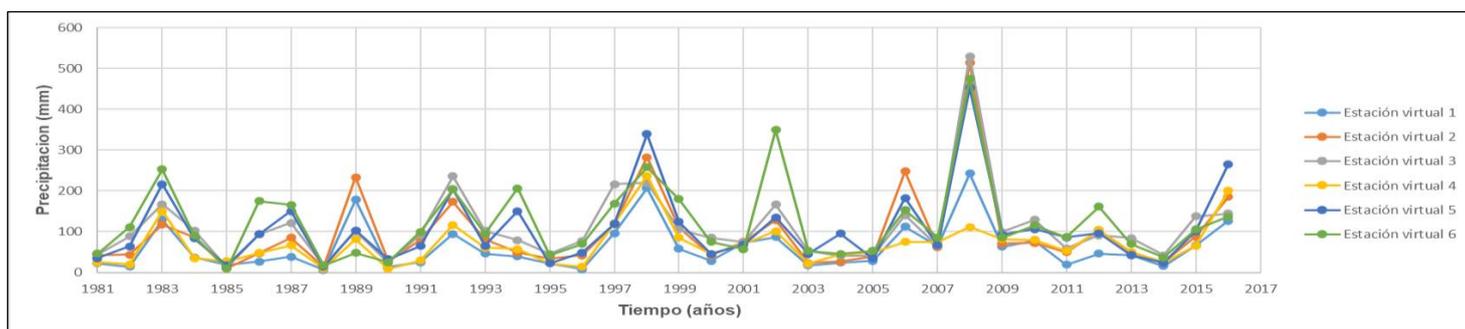
MARCO DE REFERENCIA:	ZONA: 17 S	DATUM: WGS 84
ESCALA: 1 : 100 000	FECHA: OCTUBRE 2022	LÁMINA: A3
RESPONSABLE:	Bach. JOSÉ LUIS BALLADARES MENA	

4.1.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A. ANÁLISIS VISUAL GRÁFICO

Se realizó una inspección gráfica de las series temporales; en las 6 estaciones virtuales. Se observaron datos anómalos los cuales fueron removidos de las series temporales, porque alterarían los análisis posteriores.

Figura 19 : Análisis visual de precipitaciones máximas



B. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Se realizó el análisis de correlación después de eliminar datos anómalos con respecto a la estación base (El Tigre). A continuación, se muestra en la tabla N°10 de las distancias desde las estaciones virtuales hasta la estación base, y los coeficientes de correlación obtenidos.

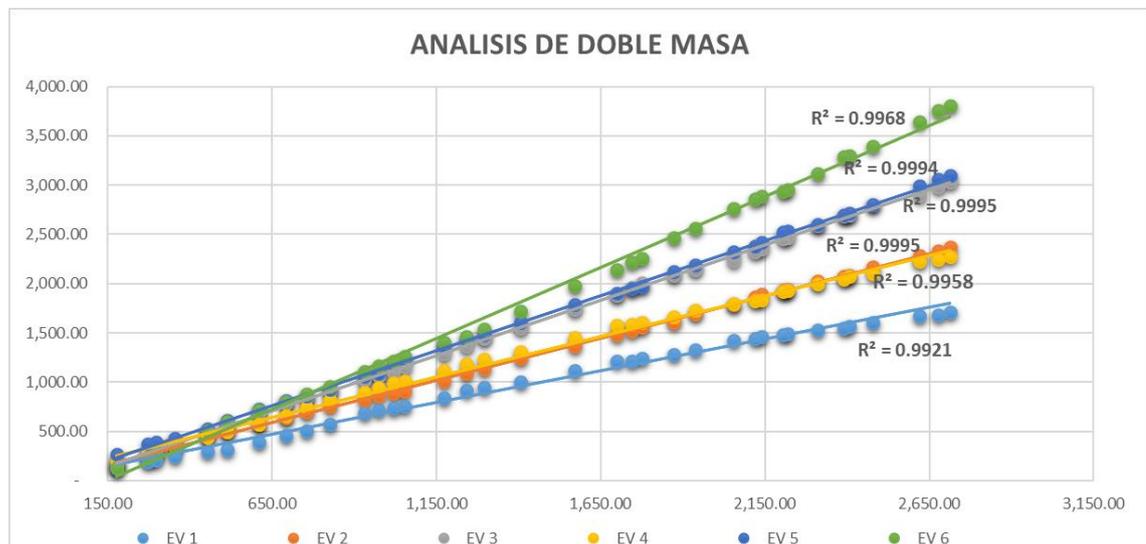
Tabla 10 : Análisis de correlación de estaciones virtuales

DESCRIPCION	DISTANCIA EST. EL TIGRE (Km)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
Estación virtual 1	2.2	0.86
Estación virtual 2	12.08	0.67
Estación virtual 3	20	0.55
Estación virtual 4	9	0.92
Estación virtual 5	14.9	0.74
Estación virtual 6	24	0.54

En la tabla N°10, las estaciones virtuales que se encuentran cercanas a la estación base (El Tigre) tienen un alto coeficiente de correlación, dentro de las cuales destaca la estación virtual 4. A continuación se muestran los gráficos de dispersión entre las precipitaciones de las estaciones virtuales vs la estación el Tigre en la figura N° 36.

C. ANÁLISIS DOBLE MASA

Se realizó para comprobar que las 6 estaciones virtuales mantengan un comportamiento similar entre ambas debido a su cercanía. El cual se ratificó con el coeficiente de determinación.



D. PRUEBA DE DATOS DUDOSOS.

En primer lugar, se determinó el área ponderada en las 6 estaciones virtuales con el uso del software ArcGIS y el procesamiento en Excel. esto se realizó con la finalidad de obtener la precipitación areal de las estaciones virtuales que tienen incidencia en la subcuenca en estudio.

Tabla 11 : Área ponderada en las estaciones virtuales

DESCRIPCION	ÁREA PONDERADA(Km ²)	PORCENTAJE DE INFLUENCIA (%)
Estación virtual 1	22.669	12.07
Estación virtual 2	59.603	31.74
Estación virtual 3	3.5282	1.88
Estación virtual 4	3.0723	1.64
Estación virtual 5	82.3427	43.84
Estación virtual 6	16.599	8.84
TOTAL	187.81	100.00

Tabla 12 Resultados logarítmicos de precipitaciones máximas para prueba de datos dudosos

Año	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	Pmax24	Log(P24hr)
1981	22.6	42.4	44.1	25.2	35.6	46.5	37.1	1.57
1982	14.1	44.1	88.2	19.9	63.9	111.6	55.5	1.74
1983	63.3	117.4	99.1	121.2	197.2	253.1	157.6	2.20
1984	37.2	85.7	102.5	35.4	83.7	90.2	78.9	1.90
1985	18.3	10.3	11.4	28.0	17.8	9.3	14.8	1.17
1986	26.9	47.1	93.5	48.1	93.8	175.1	77.3	1.89
1987	38.4	85.4	121.3	66.6	68.0	165.3	79.5	1.90
1988	6.2	13.1	16.2	9.6	14.3	17.5	13.18	1.12
1989	21.7	36.1	102.1	81.9	103.3	47.5	66.8	1.82
1990	13.4	27.2	24.1	9.1	32.9	25.2	27.5	1.44
1991	25.2	80.5	92.8	29.1	64.5	99.7	67.9	1.83
1992	94.4	95.1	95.9	70.5	130.5	203.6	119.7	2.08
1993	46.2	81.0	50.0	60.5	65.4	94.7	70.2	1.85
1994	39.6	48.9	79.5	57.0	150.5	206.3	106.9	2.03
1995	22.6	34.5	45.1	22.7	22.2	42.8	28.4	1.45
1996	8.1	42.4	77.6	14.1	49.1	69.9	43.8	1.64
1997	95.7	118.5	145.2	120.5	118.8	168.9	120.9	2.08
1998	113.1	120.3	188.3	139.3	175.8	258.2	157.6	2.20
1999	58.1	109.3	105.4	85.0	124.2	179.7	115.4	2.06
2000	28.5	41.6	85.6	45.6	45.0	75.0	45.4	1.66
2001	73.4	74.7	73.9	68.9	67.9	57.1	69.9	1.84
2002	87.2	108.8	135.3	101.0	135.2	143.3	121.2	2.08
2003	17.3	23.4	52.8	21.9	45.7	53.0	35.6	1.55
2004	23.8	26.6	40.7	44.9	95.2	45.3	58.6	1.77
2005	28.4	39.1	40.3	48.5	34.1	52.6	37.0	1.57
2006	112.0	63.3	108.5	74.6	129.0	152.4	106.9	2.03
2007	64.2	61.7	64.9	74.5	66.5	85.6	66.5	1.82
2008	51.7	50.7	59.0	90.2	49.4	76.0	53.3	1.73
2009	62.7	70.9	99.7	81.7	93.0	85.1	81.6	1.91
2010	77.7	72.4	129.6	80.4	106.7	115.9	93.1	1.97
2011	19.2	49.8	58.7	52.6	85.7	87.1	65.4	1.82
2012	46.2	103.6	90.7	103.6	96.2	161.6	98.3	1.99
2013	41.8	48.4	84.2	50.7	42.5	69.9	47.6	1.68
2014	15.3	25.6	41.7	23.4	23.4	36.9	24.7	1.39
2015	66.6	87.4	137.4	65.4	101.5	105.3	93.2	1.97
2016	126.5	184.9	144.3	200.2	265.7	136.6	208.5	2.32

Seguidamente se utilizó el análisis de datos dudosos, donde se obtuvo una precipitación máxima aceptada de 341,77 mm y una precipitación mínima aceptada de 12,06 mm. Se concluye que los valores de precipitación se encuentran dentro del rango establecido como se muestra en la tabla N°13.

Tabla 13 : Prueba de datos dudosos

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	36	36
Sumatoria	2745.78	65.07
Valor Máximo	208.51	2.32
Valor Mínimo	13.18	1.12
Media:	76.272	1.808
Varianza:	1871.232	0.076
Desviación Estándar:	43.258	0.275
Coefficiente Variación:	0.567	0.152
Coefficiente de Sesgo:	0.984	-0.6317
Se Considera:	Detectar Datos Dudosos bajos	

n= 36.00
Kn= 2.639
Kn: Valor recomendado, varia según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logaritmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \quad xH= \quad 2.53$$

Precipitacion maxima aceptaba

$$PH = 10^{xH} \quad PH = \quad 341.77 \text{ mm}$$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logaritmicas)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s \quad xL= \quad 1.08$$

Precipitacion minima aceptaba

$$PH = 10^{xH} \quad PL = \quad 12.06 \text{ mm}$$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MINIMO DE LA MUESTRA

E. PRECIPITACIONES CON MODELOS PROBABILÍSTICOS.

Realizado dicho análisis con Hidroesta, nos determinó que la distribución de Gumbel presentó un mejor ajuste a la serie de precipitaciones, indicando un delta teórico con la prueba de Kolmogorov Smirnov de 0.0549.

Se seleccionó los ajustes correspondientes a la distribución de Gumbel para estimar las precipitaciones de 24 horas para periodos de retorno de 2,5,10,20,25,50,100 200, y 500 años.

Tabla 14 : Precipitaciones con modelos probabilísticos

DISTRIBUCION	DELTA TEORICO	DELTA TABULAR
NORMAL	0.0998	0.2267
LOG NORMAL 2 PARAMETROS	0.1059	0.2267
LOG NORMAL 3 PARAMETROS	0.0698	0.2267
GAMMA 2 PARAMETROS	0.0671	0.2267
GAMMA 3 PARAMETROS	0.05605	0.2267
GUMBEL	0.0549	0.2267
LOG GUMBEL	0.1765	0.2267

En cuanto al parámetro de intensidad se usó la figura N°12, debido a que la región Tumbes no se encontró el valor de subzona. En tal sentido, se ubicó la subzona 5 a10 como región homogénea y se obtuvo el valor de 6.1816 mm. El parámetro de frecuencia está relacionado a la zona de la región, obteniendo el valor de $k=1.45$ (adimensional).

Con respecto al parámetro de duración, se ha considerado la tabla N°1 registrando un $n= 0.434$ (adimensional).

Determinados los coeficientes de precipitación e intensidad para diferentes duraciones, se elaboraron las curvas IDF.

Tabla 15 : Precipitaciones de diseño para duraciones menores a 24 horas (mm)

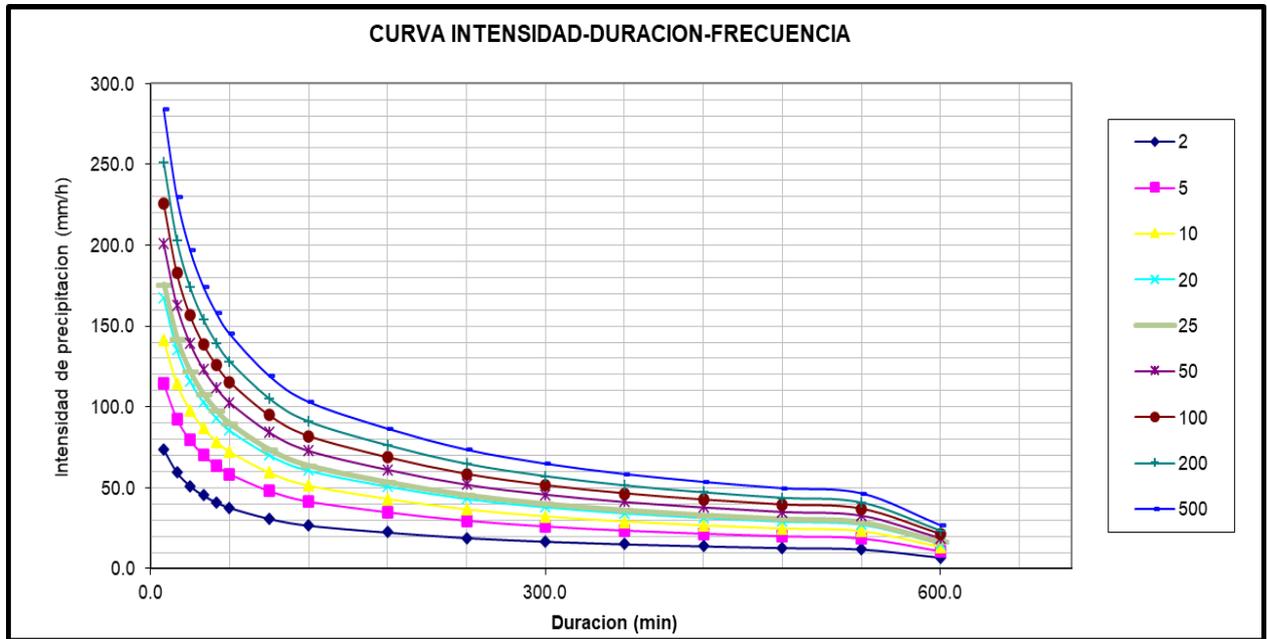
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	11.27	17.49	21.61	25.57	26.82	30.69	34.53	38.35	43.39
0.33	20.00	13.26	20.58	25.43	30.09	31.56	36.11	40.62	45.12	51.05
0.50	30.00	14.92	23.16	28.62	33.85	35.51	40.63	45.71	50.77	57.45
0.67	40.00	16.37	25.41	31.40	37.14	38.96	44.58	50.15	55.70	63.03
0.83	50.00	17.66	27.42	33.89	40.09	42.05	48.11	54.13	60.12	68.03
1.00	60.00	18.85	29.26	36.16	42.78	44.87	51.34	57.76	64.15	72.59
1.50	90.00	21.92	34.04	42.06	49.76	52.20	59.72	67.18	74.62	84.43
2.00	120.00	24.52	38.07	47.04	55.65	58.38	66.79	75.14	83.45	94.43
3.00	180.00	28.05	43.55	53.82	63.67	66.79	76.41	85.96	95.48	108.03
4.00	240.00	31.78	49.35	60.98	72.13	75.67	86.57	97.39	108.17	122.40
5.00	300.00	35.02	54.36	67.18	79.47	83.36	95.38	107.30	119.17	134.85
6.00	360.00	37.90	58.84	72.71	86.01	90.23	103.23	116.13	128.99	145.95
7.00	420.00	40.52	62.91	77.74	91.96	96.47	110.37	124.17	137.91	156.05
8.00	480.00	42.94	66.66	82.38	97.45	102.23	116.96	131.58	146.14	165.36
9.00	540.00	45.19	70.16	86.70	102.56	107.59	123.09	138.48	153.81	174.03
10.00	600.00	49.17	77.39	93.70	110.98	116.68	134.41	151.96	169.42	188.38

Tabla 16 : Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas (mm/hr)

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	73.75	114.49	141.48	167.37	175.58	200.87	225.98	251.00	284.00
0.33	20.00	59.65	92.62	114.44	135.38	142.02	162.49	182.80	203.03	229.73
0.50	30.00	51.14	79.40	98.12	116.07	121.76	139.31	156.72	174.07	196.96
0.67	40.00	45.32	70.36	86.95	102.85	107.90	123.45	138.88	154.25	174.53
0.83	50.00	41.03	63.69	78.71	93.11	97.67	111.75	125.72	139.63	157.99
1.00	60.00	37.70	58.53	72.32	85.55	89.75	102.68	115.51	128.30	145.17
1.50	90.00	30.95	48.05	59.38	70.24	73.69	84.31	94.85	105.34	119.20
2.00	120.00	26.75	41.53	51.32	60.71	63.68	72.86	81.97	91.04	103.01
3.00	180.00	22.44	34.84	43.05	50.93	53.43	61.13	68.77	76.38	86.43
4.00	240.00	19.07	29.61	36.59	43.28	45.40	51.94	58.44	64.90	73.44
5.00	300.00	16.81	26.09	32.24	38.14	40.02	45.78	51.50	57.20	64.73
6.00	360.00	15.16	23.54	29.08	34.40	36.09	41.29	46.45	51.60	58.38
7.00	420.00	13.89	21.57	26.65	31.53	33.08	37.84	42.57	47.28	53.50
8.00	480.00	12.88	20.00	24.71	29.23	30.67	35.09	39.47	43.84	49.61
9.00	540.00	12.05	18.71	23.12	27.35	28.69	32.82	36.93	41.01	46.41
10.00	600.00	6.92	10.74	13.27	15.70	16.47	18.84	21.20	23.54	26.64

Finalmente se obtuvieron las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) para diferentes periodos de retorno.

Figura 21 : Curva IDF para diferentes periodos de retorno



Ecuación de intensidad duración y frecuencia

$$I = \frac{10^{2.4735} T^{0.2298}}{t^{0.51}}$$

Donde:

I: Intensidad (mm/h)

T: Periodo de retorno (años)

t: Duración de la precipitación (min)

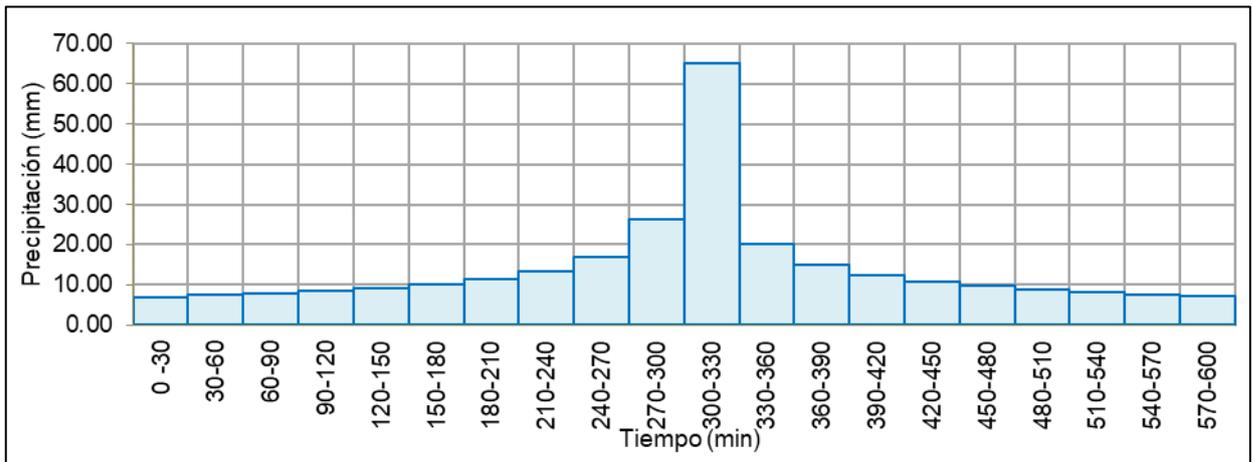
4.1.4. MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

Con la finalidad de desarrollar hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno, se utilizó el método del bloque alterno. Cabe mencionar que el intervalo de tiempo fue de 30 minutos y con una duración de 10 horas. Los resultados completos sobre los hietogramas de diseño para los distintos periodos de retorno se encuentran en el anexo N° 5, a continuación, se muestra el método del bloque alterno y el hietograma de diseño, ambos para un TR 50 años.

Tabla 17 : Método de bloque alterno para un Tr 50 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
30	129.918	64.959	64.959	0 -30	7.069
60	91.359	91.359	26.400	30-60	7.47
90	74.353	111.530	20.171	60-90	7.94
120	64.244	128.488	16.958	90-120	8.52
150	57.359	143.399	14.910	120-150	9.25
180	52.286	156.857	13.458	150-180	10.19
210	48.348	169.216	12.360	180-210	11.49
240	45.177	180.707	11.491	210-240	13.46
270	42.553	191.489	10.782	240-270	16.96
300	40.335	201.677	10.188	270-300	26.40
330	38.429	211.360	9.683	300-330	64.96
360	36.768	220.605	9.245	330-360	20.17
390	35.303	229.466	8.861	360-390	14.91
420	33.998	237.988	8.521	390-420	12.36
450	32.827	246.205	8.217	420-450	10.78
480	31.769	254.148	7.943	450-480	9.68
510	30.805	261.843	7.695	480-510	8.86
540	29.924	269.312	7.468	510-540	8.22
570	29.113	276.572	7.260	540-570	7.70
600	28.364	283.641	7.069	570-600	7.26
3,930.823					
Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)					
$I = \frac{10^{2.4735} T^{0.2298}}{t^{0.51}}$					
I: Intensidad máxima (mm/h) T: Período de retorno en años = 50 t: Duración de la precipitación (min)					

Figura 22 : Hietograma de precipitación para un Tr 50 años



4.1.5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO

MODELAMIENTO EN HEC – HMS

Se utilizó el método de pérdida número de curva y el método de transformación Hidrograma unitario. Siendo los parámetros de entrada los que se muestran en la tabla N°18.

Figura 23 : Modelamiento en software Hec-Hms

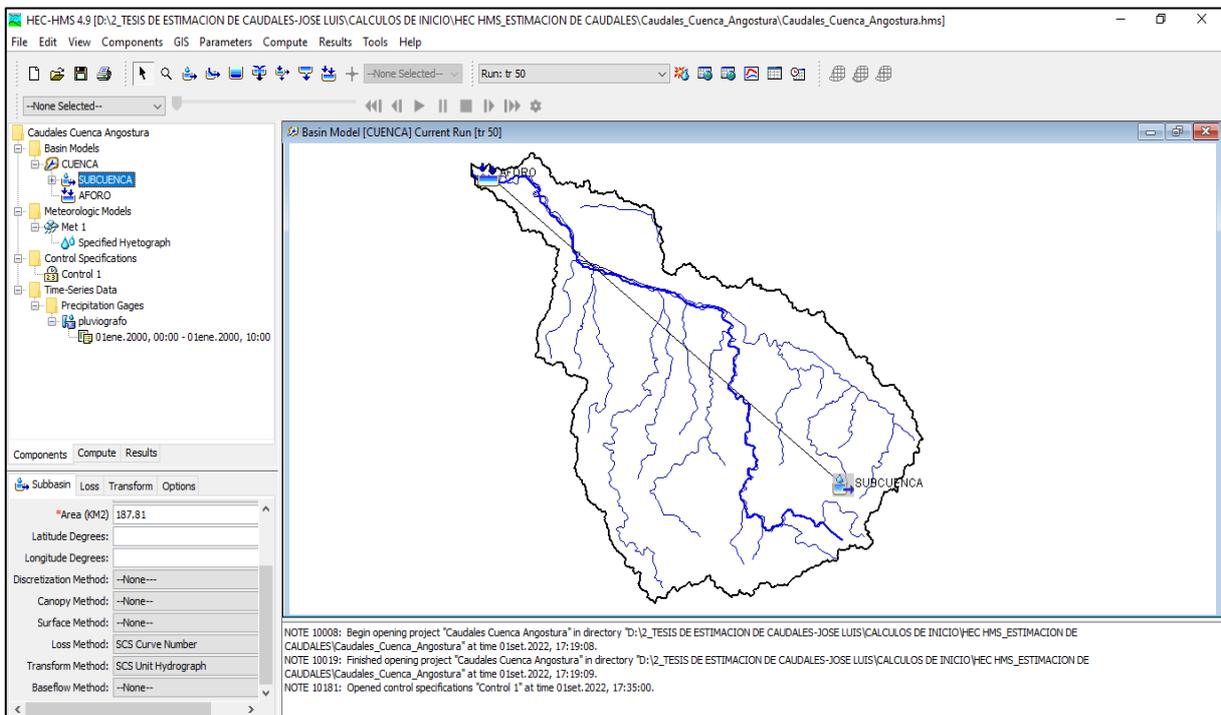


Tabla 18 : Parámetros usados en la modelación con Hec-Hms

PARÁMETROS	
ÁREA DE LA SUBCUENCA	187.81 km ²
MÉTODO DE PÉRDIDA	NUMERO DE CURVA (55)
TIEMPO DE RETRASO	360 MIN
MÉTODO DE TRANSFORMACIÓN	HIDROGRAMA UNITARIO

Para el valor del número de curva, se ha considerado la tabla N°9 que describe a una subcuenca de tipo bosque, condición hidrológica buena y clasificándose como tipo de suelo B (texturas moderadamente finas – moderadamente gruesas).

El tiempo de retraso esta en función al tiempo de concentración, según Chereque Morán, W. (1989). En su libro “Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil”, considera la relación empírica de 0.6 por el tiempo de concentración.

Los detalles del modelamiento hidrológico en Hec-Hms se muestran en el anexo N° 7.

Tabla 19 : Caudales Máximos para periodos de Retorno con la Modelación Hec-Hms

TR (años)	Qmax (m ³ /seg)
2	162.00
5	262.70
10	364.20
20	493.40
25	542.00
50	716.00
100	931.00
200	1192.40
500	1625.20

MÉTODO DE CREAGER

Determinado los principales parámetros, como; área (km²) y coeficientes que depende de cada Región del País. Para la subcuenca en estudio y según las tablas N°7 y N°8, los coeficientes para la región Tumbes correspondieron a la Región Hidráulica 1. Los caudales máximos se calcularon en función a la siguiente fórmula:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \log(T) * A^{m*A^{-m}}$$

Tabla 20 : Parámetros usados en el método de Creager

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR
Q	CAUDAL MÁXIMO (m ³ /seg)	
C1	COEFICIENTE ADIMENSIONALE; DEFINIDO POR REGIONES HIDRAULICAS	1.01
C2	COEFICIENTE ADIMENSIONALE; DEFINIDO POR REGIONES HIDRAULICAS	4.37
A	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	187.81
T	PERIODO DE RETORNO (Años)	
m	EXPONENTE ADIMENSIONALES POR REGIONES HIDRAULICAS	1.02
n	EXPONENTE ADIMENSIONALES POR REGIONES HIDRAULICAS	0.04

Tabla 21 : Caudales Máximos para periodos de Retorno con el Método de Creager

TR (años)	Qmax (m3/seg)
2	123.14
5	285.92
10	409.05
20	532.19
25	571.83
50	694.97
100	818.11
500	1104.02

MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Los caudales máximos se calcularon en función a la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} * K$$

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h).

A: Área de la cuenca (Km²).

K: Coeficiente de Uniformidad.

Tabla 22 : Intensidades para diferentes periodos de Retorno

TR (Años)	I (mm/hr)
2	13.536
5	16.708
10	19.594
20	22.978
25	24.187
50	28.364
100	33.263
200	39.007
500	48.151

Las intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno fueron obtenidas de las curvas IDF.

Tabla 23 : Variables correspondientes al método racional modificado

VARIABLE	UNIDAD	RESULTADO
C	Adimensional	0.3
A	km ²	187.81
K	Adimensional	1.56
Tc	Horas	10

Según el “MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Indica que: El valor del coeficiente de escorrentía se encuentra directamente relacionado con las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas (cobertura y tipo de suelo).

En la investigación realizada se corroboró que se trata de una subcuenca de tipo bosque y con densa vegetación, asimismo se contrata con el coeficiente de masividad de 0.0022 (rango en km), lo que corresponde a una cuenca muy montañosa y boscosa.

Presenta un valor de densidad de drenaje de 4.82, indicando una densidad de drenaje baja con texturas gruesas, esto se relaciona con un tipo de suelo semipermeable. Con lo cual, podemos afirmar que por tener una pendiente del cauce 2% (suave) y usando la tabla N° 9, que describe al área en estudio (subcuenca Angostura) con bosque y vegetación densa, suelo semipermeable y con una pendiente de cauce suave. El coeficiente de escorrentía a usar en el método racional fue de 0.30.

Tabla 24 : Caudales Máximos para Periodos de Retorno con el Método Racional Modificado

TR (años)	Q max (m³/seg)
2	330.49
5	407.93
10	478.39
20	561.01
25	590.53
50	692.52
100	812.13
500	1175.62

V. DISCUSIÓN

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

PEBPT, (1979; En el estudio “Características Físicas Cuenca Piloto Quebrada De La Angostura”, concluye que “La Cuenca Quebrada Angostura tiene un área de 186.96 km², perímetro de 68.96 km y un coeficiente de Gravelius de 1.408”. Por otra parte (p. 17). Además, se menciona que la elevación media es de 394 msnm.

Gobierno Regional de Tumbes, (2016). En su proyecto “Creación del Puente Cabuyal en el Centro Poblado Cabuyal del Distrito de Pampas de Hospital, Provincia de Tumbes, Departamento de Tumbes luz = 54.86 m”, en la determinación del caudal aportante según el método Racional Modificado. Menciona que el área de la cuenca es de 42.5 km².

Máximo.G; y Alemán, W.J. (2019) en su tesis “Estimación de Caudales Máximos en Cuencas Secas y Aplicación en Diseños de obras de defensas ribereñas: Caso Quebrada Angostura, Tumbes 2019”, concluye que la Cuenca posee una extensión de 187.81 Km² y un perímetro de 79.16 Km, posee un Coeficiente de Gravelius de 1.62. (p. 93).

Dicho lo anterior, se ratifica la diferencia de algunos parámetros en comparación al estudio realizado por el PEPBT, ya que, en la presente investigación se obtuvo un área de 187.81 km², perímetro de 79.14 km y un coeficiente de Gravelius (1.63), demostrando que se trata de una sub cuenca de forma oblonga o rectangular alargada. Con respecto al factor de relieve se obtuvo una altitud media de 423 msnm.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Como describe Máximo.G; y Alemán, W.J. (2019); “Quebrada Seca Angostura Cabuyal un cauce principal de una Longitud de 34 Km, con un tiempo de concentración de 540 minutos”. (p. 120).

Por otra parte, con respecto a las intensidades en las curvas, concluyo que:

IDF 5 años corresponde a una intensidad de 21.0314 mm/h, 10 años una intensidad de 25.8392 mm/h, 25 años una intensidad de 32.8161 mm/h, para 50 años una intensidad de 38.0163 mm/h y para 100 años una intensidad de 43.2176 mm/h.

En el proyecto “Creación del Puente Cabuyal”, se menciona que la cuenca Angostura tiene una longitud del cauce mayor de 20 km, con un tiempo de concentración de 8.82 horas.

En la presente investigación, se obtuvo una longitud del cauce principal de 34 km y un tiempo de concentración de 600 minutos. Sin embargo, los valores correspondientes a las intensidades de precipitación difieren, ya que, se obtuvieron los siguientes resultados; 5 años corresponde a una intensidad de 16.708 mm/h, 10 años una intensidad de 19.594mm/h, 25 años una intensidad de 24.187mm/h, para 50 años una intensidad de 28.364mm/h y para 100 años una intensidad de 33.263 mm/h.

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS

ESTIIMACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMOS

Máximo.G; y Alemán, W.J. (2019); empleando un periodo de retorno de 50 años y haciendo uso del “método Racional Modificado” y “Método de Creager”, obtuvieron caudales máximos de 909.36 m³/seg, 694.98 m³/seg respectivamente y considerando un promedio entre ambos métodos de 802.17 m³/seg. (p. 115)

Palmer, G. (2020); utilizando un periodo de retorno de 50 años y haciendo uso del método de Creager y momentos lineales, obtuvo caudales máximos de 694.94448 m³/seg, 469.5 m³/seg respectivamente y considerando un promedio entre ambos métodos de 582.22224 m³/seg. (p.91);

En la presente investigación se obtuvieron caudales máximos de; 694.96 m³/seg, 692.51 m³/seg, 716 m³/seg, con los métodos de Creager, Racional Modificado y Modelamiento en HEC-HMS respectivamente, para un tiempo de retorno de 50 años. Y considerando un promedio entre los tres métodos de 701.16 m³/seg.

VI. CONCLUSIONES

1. Los caudales máximos obtenidos resultan del promedio de: Modelo hidrológico en HEC-HMS, Método de Creager, Método Racional Modificado, teniendo los valores de 205.208 m³/seg, 318.849 m³/seg ,417.215 m³/seg, 528.868 m³/seg, 568.121 m³/seg, 701.161 m³/seg, 853.744 m³/seg, 1028.587 m³/seg, 1301.614 m³/seg para los Periodos de retorno de 2 – 5 – 10 – 20 - 25 – 50 – 100 – 200 – 500 años respectivamente.
2. La subcuenca Angostura tiene un área de 187.81 km² y un perímetro de 79.14 km, teniendo una clasificación de oblonga rectangular alargada según su índice de compacidad cuyo valor es de 1.63.
3. La evaluación estadística, de los datos de precipitación diaria obtenida del producto Grillado Pisco para las 6 estaciones virtuales generadas en la subcuenca Angostura, lograron superar satisfactoriamente las pruebas de correlación, doble masa, datos dudosos; por lo que se considera una información consistente.
4. Se ha considerado la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración en la subcuenca Angostura (10 horas), el cual define el comportamiento hidrológico ante una tormenta, alcanzando así el pico máximo en el hidrograma.

VII. RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo estudios topográficos en la parte media y baja de la subcuenca Angostura. Dichos estudios, en conjunto con los caudales definidos en el estudio de hidrología servirán para determinar con mayor precisión las áreas vulnerables a inundaciones.
2. Los sistemas de información geográfica nos permiten esquematizar las condiciones hidrológicas tales como uso de suelo y tipos de suelo, pero se recomienda actualizar dicha información con una verificación de campo, así, por ejemplo, el uso de suelo puede variar a lo largo del tiempo e influir en el comportamiento hidrológico de una cuenca ante una tormenta.
3. Los resultados obtenidos con los métodos utilizados son referenciales, debido a que la subcuenca no tiene datos hidrométricos que permitan realizar la calibración y validación del modelo, los cuales pueden ser obtenidos mediante aforos en los meses de crecidas.
4. Sugerir a las instituciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos, la instalación de estaciones hidrometeorológicas dentro de la subcuenca Angostura, con el propósito de tener información pluviométrica a escala diaria, que permita realizar calibraciones en el modelo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atoche, M.G.; y Alemán, W.J. (2019). Estimación de Caudales Máximos en Cuencas Secas y Aplicación en Diseños Obras de Defensas Ribereñas: Caso Quebrada Angostura, Tumbes, 2019. Tesis. Universidad Nacional de Tumbes – Facultad de Ciencias Agrarias.

Bermeo-Artunduaga, S. A., León-Hernández, A. R., & López-López, H. E. (2018). Estimación de los caudales máximos y caracterización morfométrica de la microcuenca del cauce en el sector hidrodependiente del municipio de San Francisco–Cundinamarca.

Cabrera, J. (2012). Modelos hidrológicos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Ni-o, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.

CACHUÁN, J. (2017). modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río shullcas. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo.

Campos Aranda, D. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.

Campos, A. (2016). Hidráulica e hidrología para ingeniería. Moscú, Rusia: Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia.

Carmona Arteaga, A. (2019). Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo.

Chereque Morán, W. (1989). Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil.

Chow, V. T., Maidment, D. R., y Mays, L. W. 1994. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial McGraw-Hill.

Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. 1994. Hidrología Aplicada. Mc. Graw-Hill interamericana Santa Fe de Bogotá. Colombia. 531 p.

García, M. G. Estimación de caudales de diseño en eventos extremos de precipitación a partir de la información disponible en Bolivia.

Gaspari, F.J., Díaz Gómez, A., Delgado, M.I. & Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense. Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, 114(1).

agua. (s.f.). ¿En qué consiste la precipitación atmosférica? Obtenido de <https://www.iaqua.es/respuestas/que-consiste-precipitacion-atmosferica>

IBAL, S. (2009). Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas Las Panelas y La Balsa.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima – Perú.

Ortiz Vera, O. (2004). Evaluación hidrológica. Hidrored.

Otálvaro, M. V. V. HIDROLOGIA PARA INGENIEROS.

Palmer, G. (2020). Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.

Paredes Pinto, R. E. (2015). Generación de intensidades de precipitación máxima en estaciones sin información pluviográfica (Cuenca del Rio Illpa-Puno).

Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes. (1979). Características Físicas de la cuenca Piloto Quebrada de la Angostura. Tumbes: republica del Perú. <http://repositorio.ana.gob.pe/>

SENAMHI. (2017). Uso del producto grillado Pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Lima.

SENAMHI-UNI-IILA. (1983). Alicia (Acceso Libre a la Información Científica).
Obtenido de CONCYTEC:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ANAI_df471066f66f174d32bf6929d8761e3c/Details

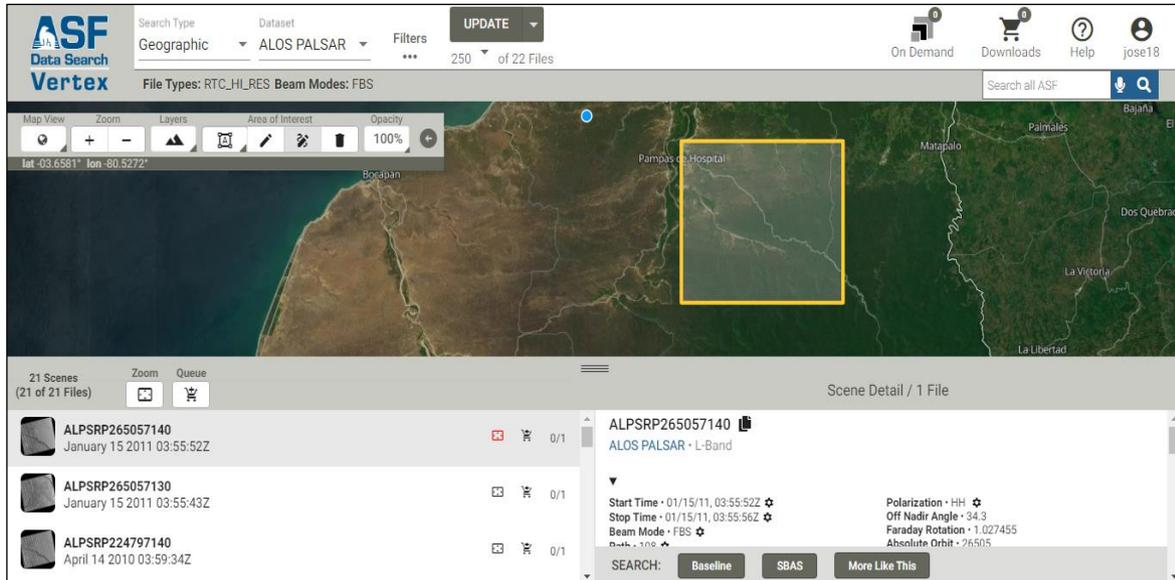
Villón, M. 2002. Hidrología. Segunda Edición. Lima – Perú: Editorial Villón.

Zevallos, C. (2019). Estimación y tránsito de máximas avenidas en la microcuenca de la quebrada Faical, Tumbes - 2019. Tesis de pregrado. Universidad Nacional De Tumbes, Tumbes.

IX. ANEXOS

ANEXO 1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Figura 24 : Obtención del modelo digital de elevación



ANEXO 2 DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA ANGOSTURA

Figura 25 : Corrección del DEM con la herramienta FILL

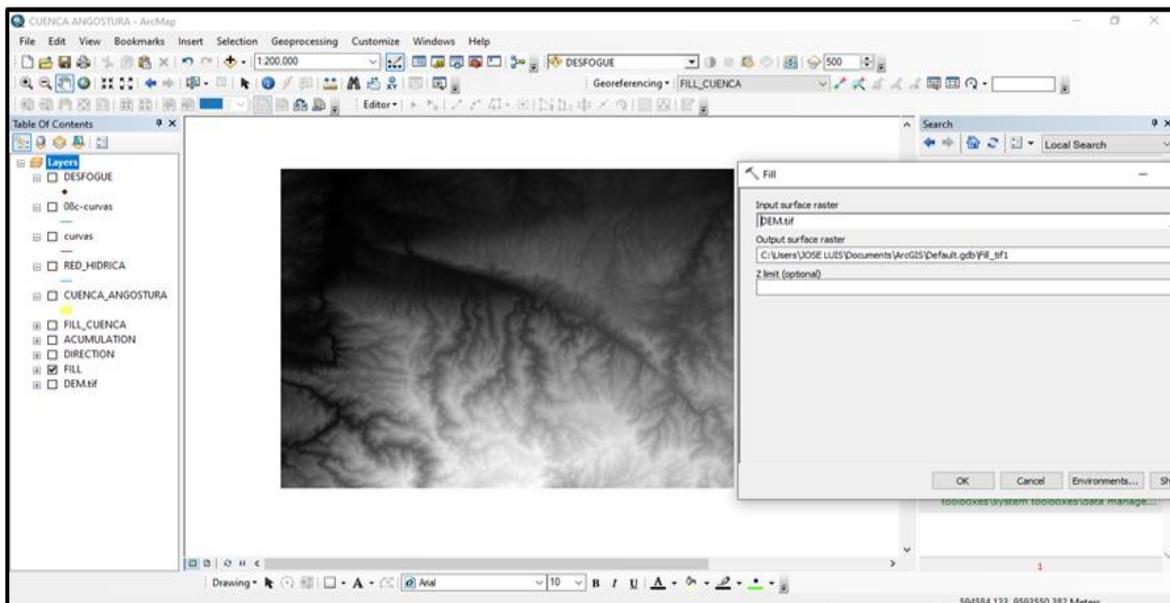


Figura 26 : Creación de flow direction y flow accumulation

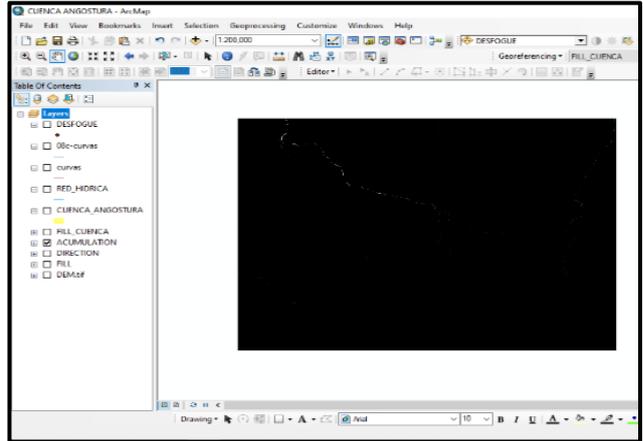
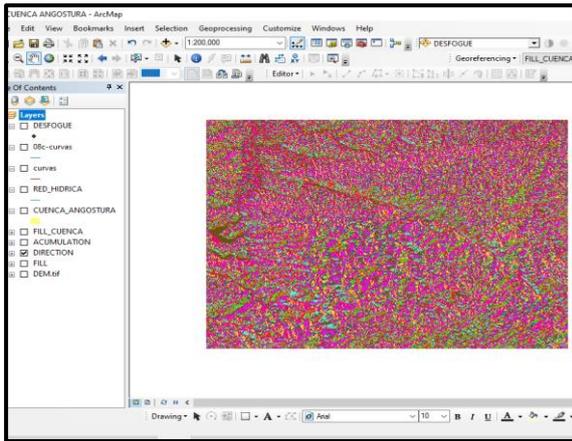


Figura 27 : Creación del punto de desfogue

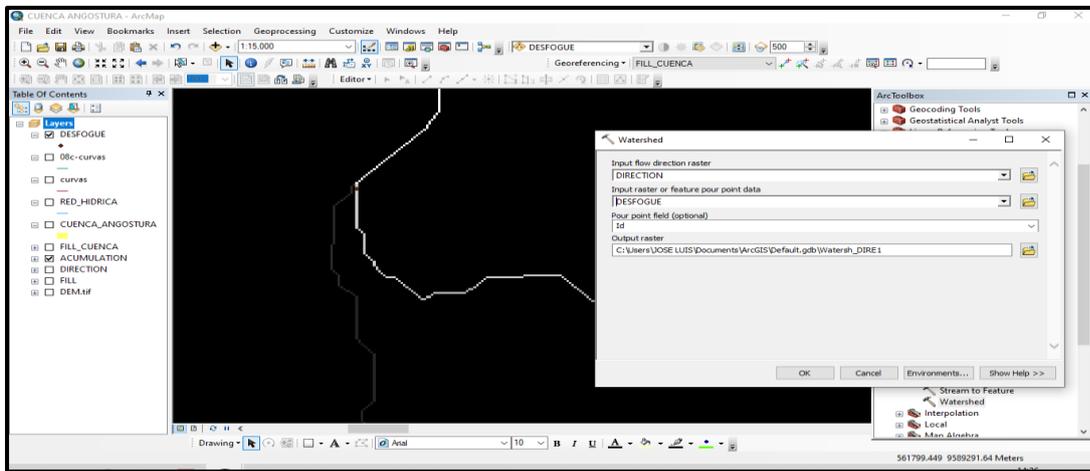
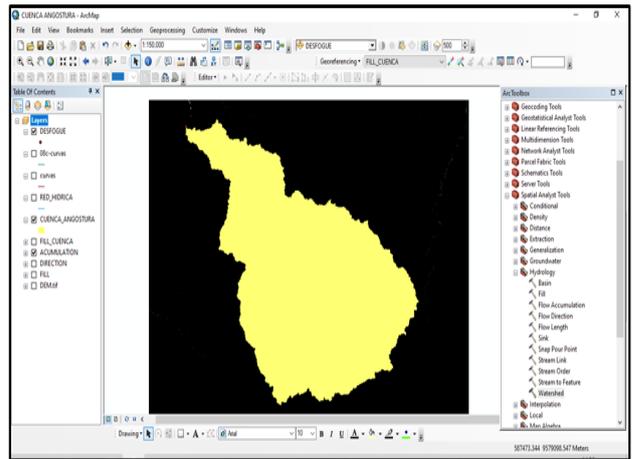
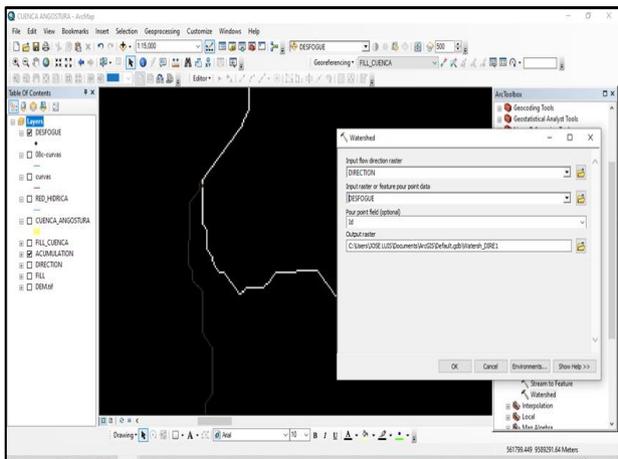


Figura 28 : Delimitación de la Subcuenca Angostura con la herramienta watershed



ANEXO 3 DESCARGA Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Figura 29 : Procesamiento de Precipitación diaria

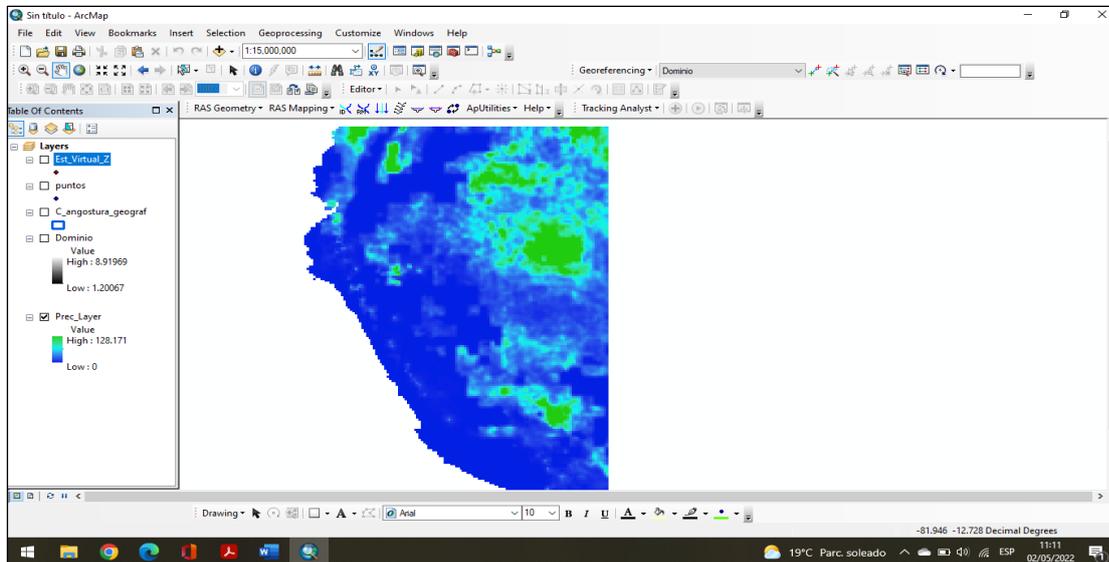


Figura 30 : Creación de estaciones virtuales

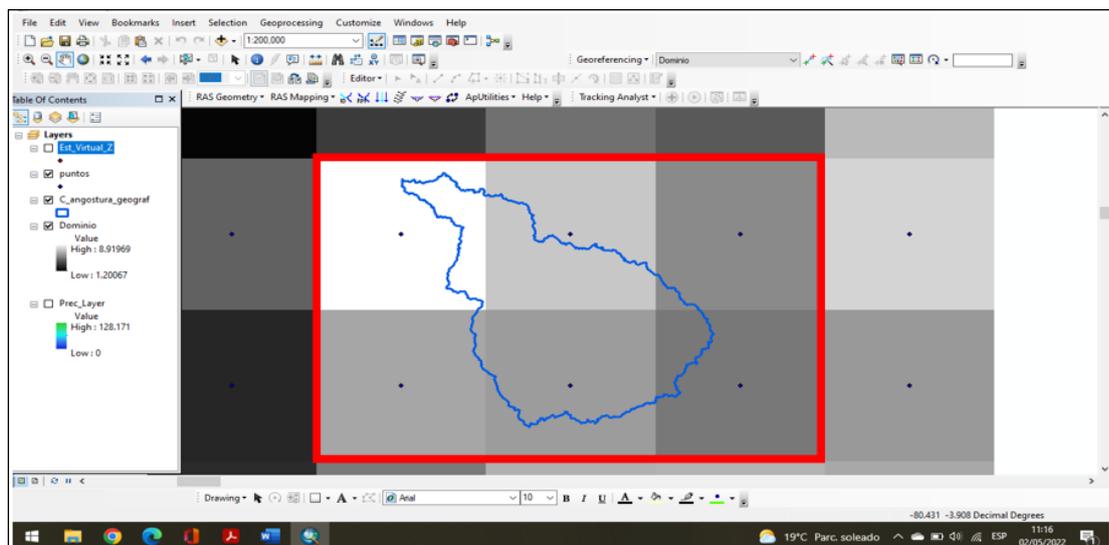


Figura 31 : Ubicación de estaciones virtuales

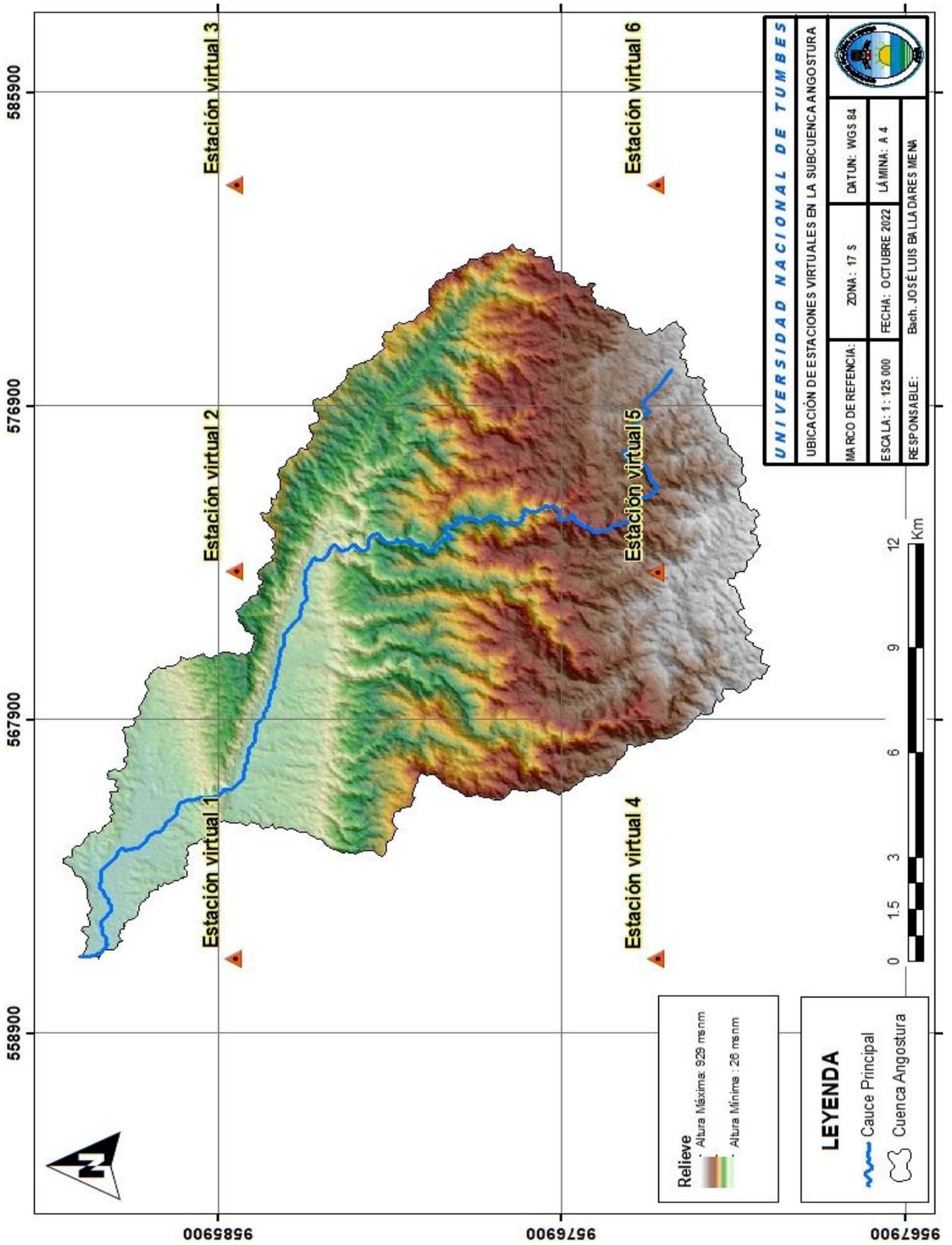


Figura 32 : Área ponderada de cada estación virtual

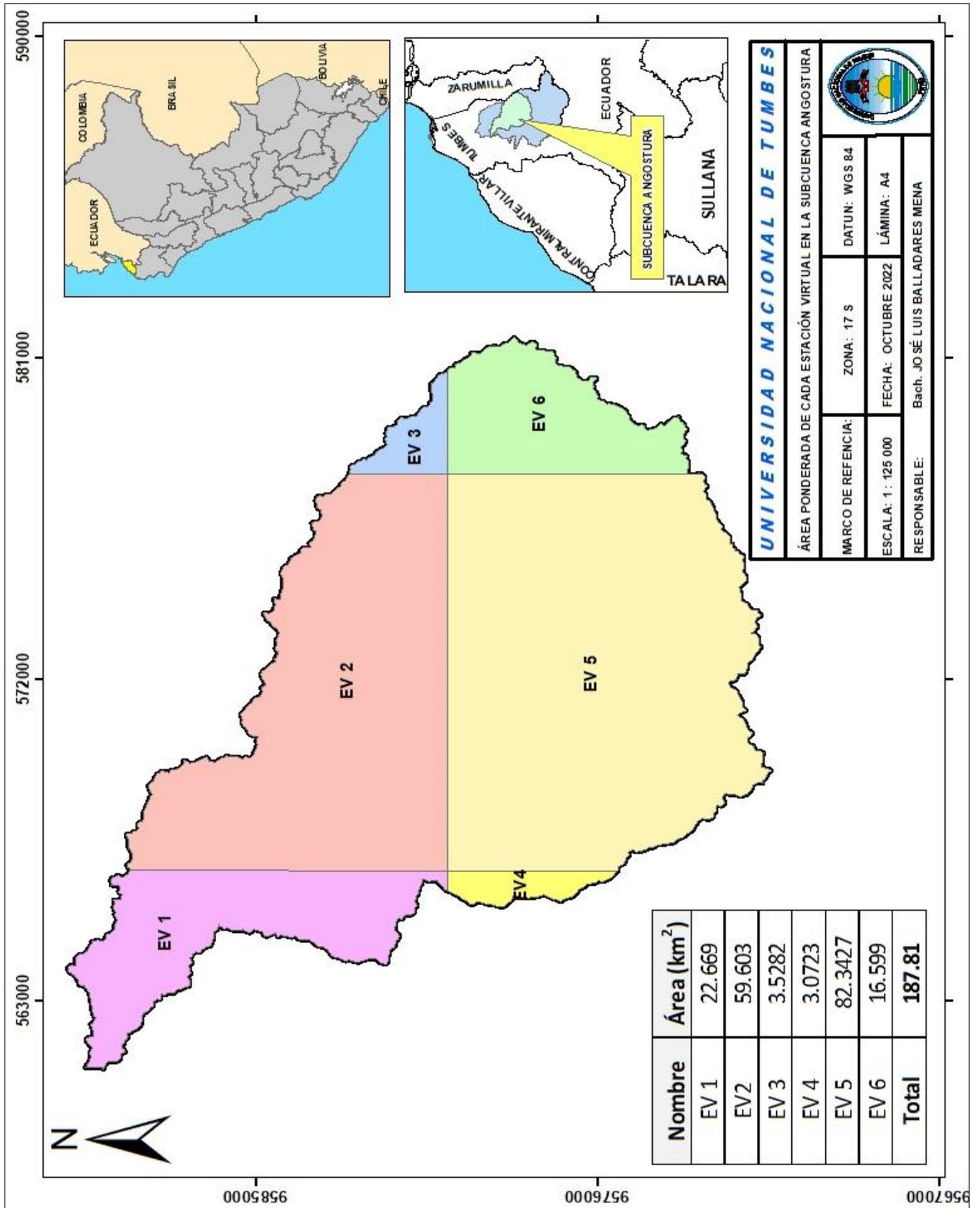
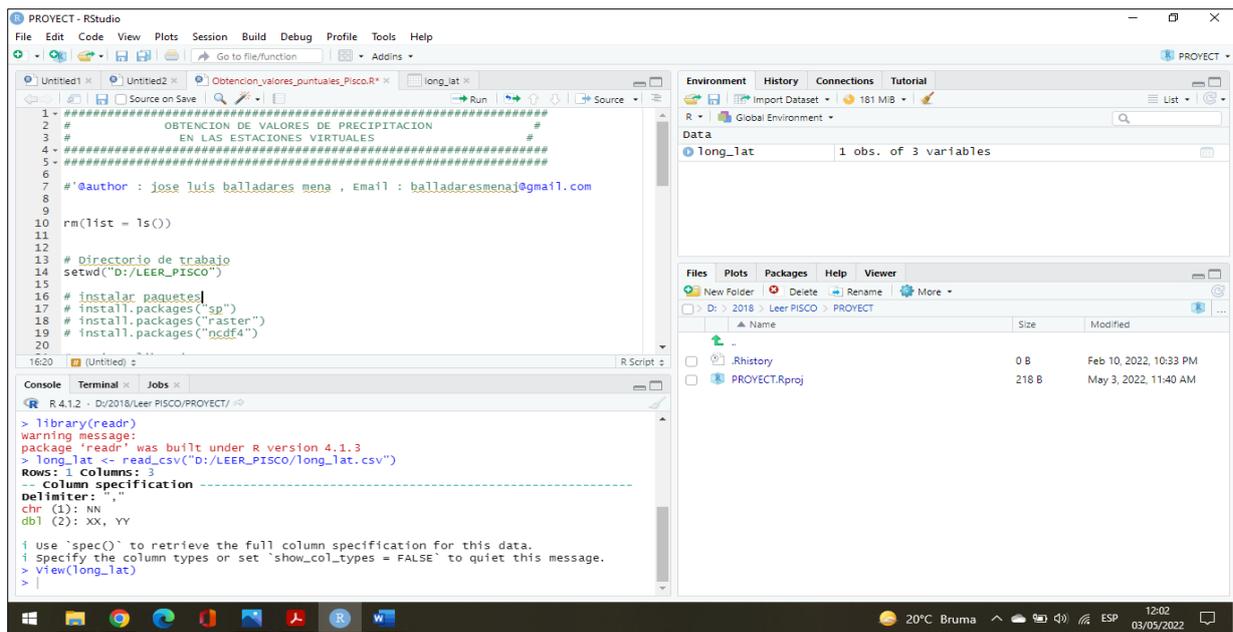


Figura 33 : Interfaz del software R studio



a) Código para extraer datos PISCO.

```
setwd("D:/2018/Leer PISCO")
```

```
rm(list = ls())
```

```
install.packages("raster")
```

```
install.packages("ncdf4")
```

```
library(raster)
```

```
library(ncdf4)
```

```
long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)
```

```
raster_pp <- raster::brick("PISCOpd.nc")
```

```
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
```

```
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
```

```
points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
```

```
data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
```

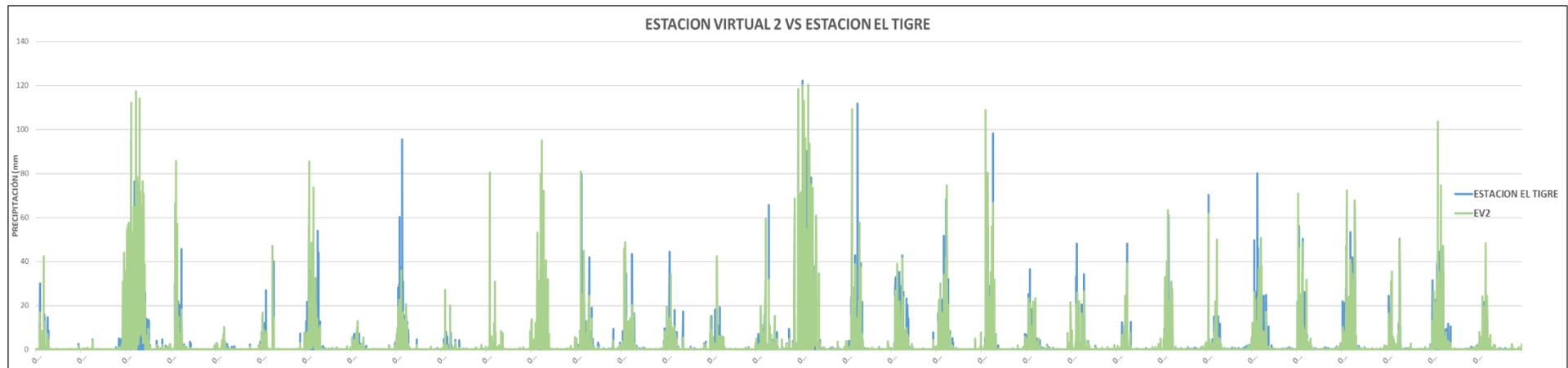
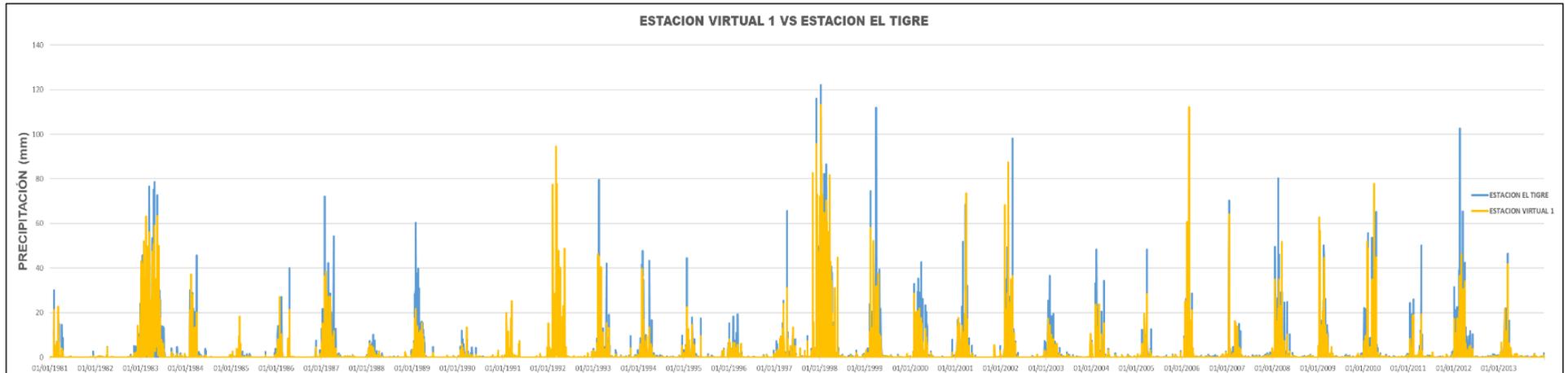
```
colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)
```

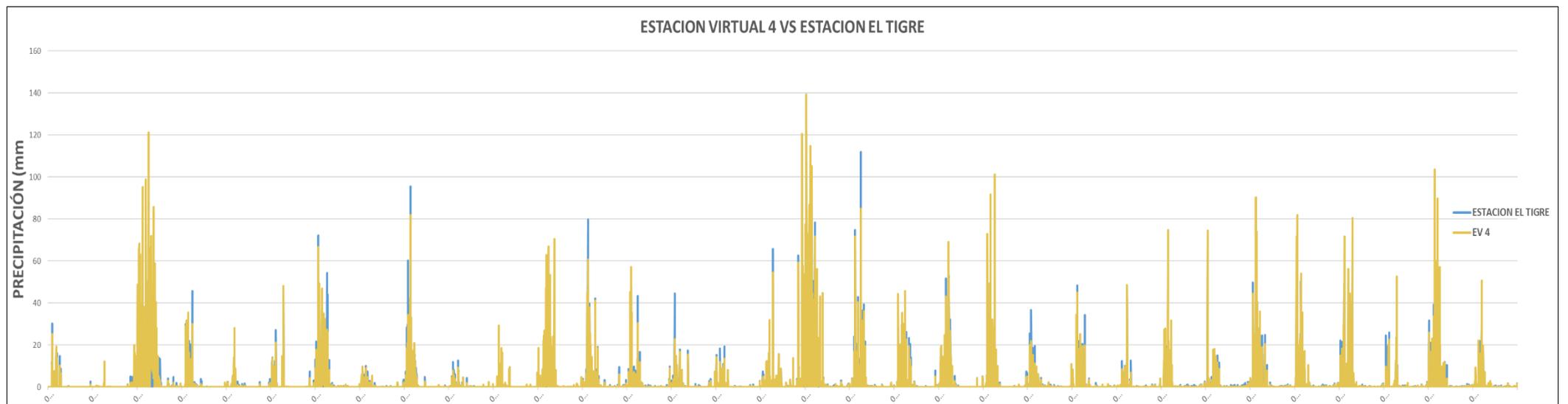
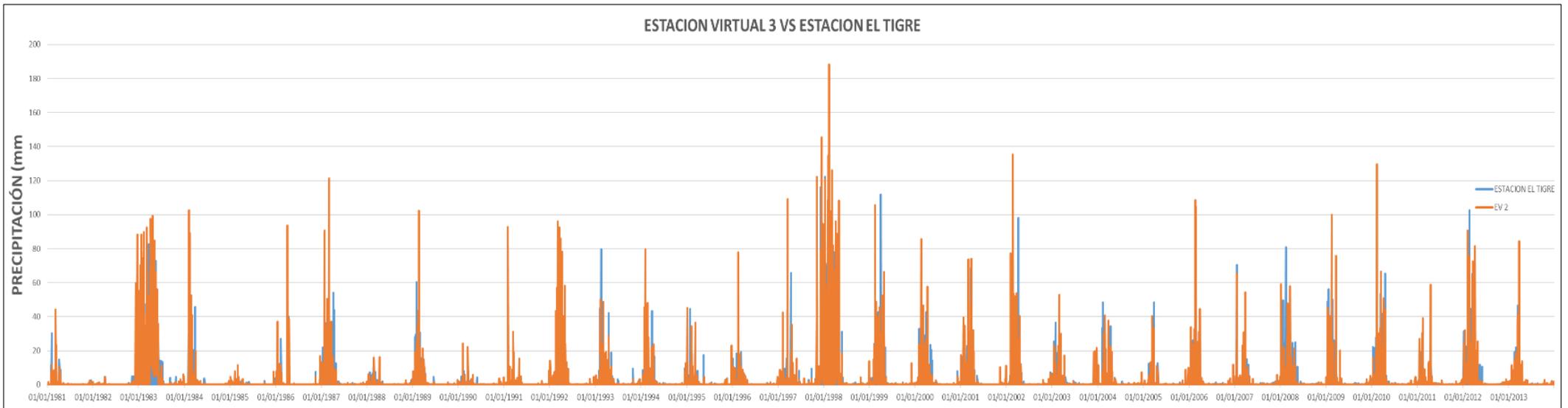
```
save.image("E:\\2018\\Leer PISCO\\data_long_lat.csv")
```

```
write.csv(data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote = F
```

Anexo 4: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Figura 34 : Análisis visual grafico





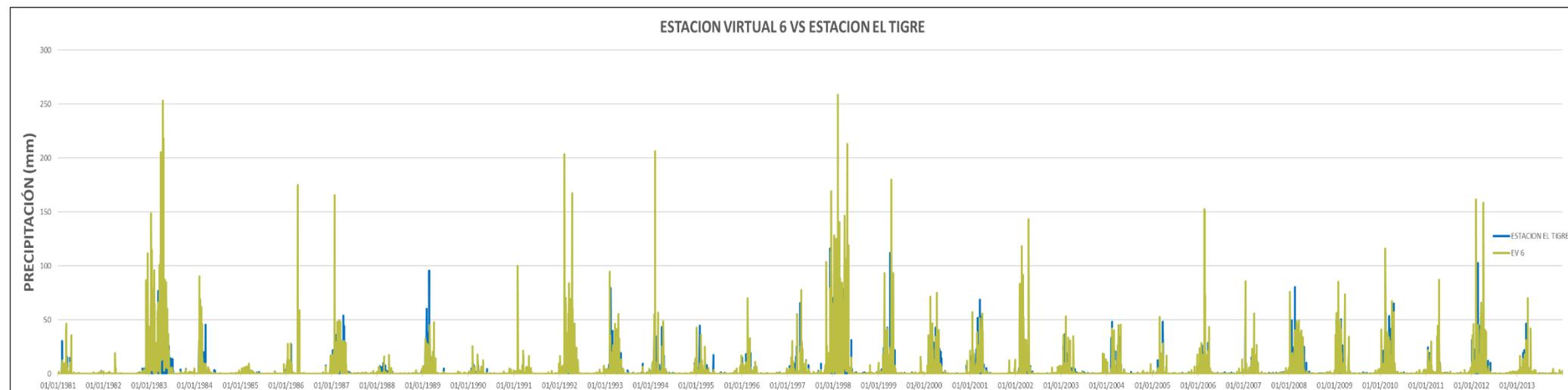
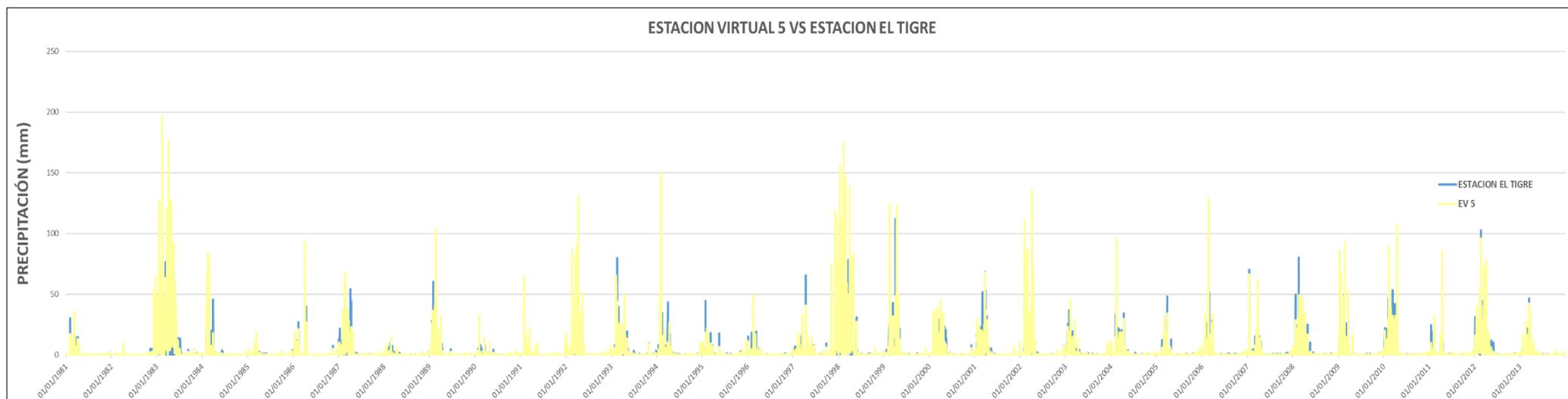


Figura 35 : Análisis de correlación

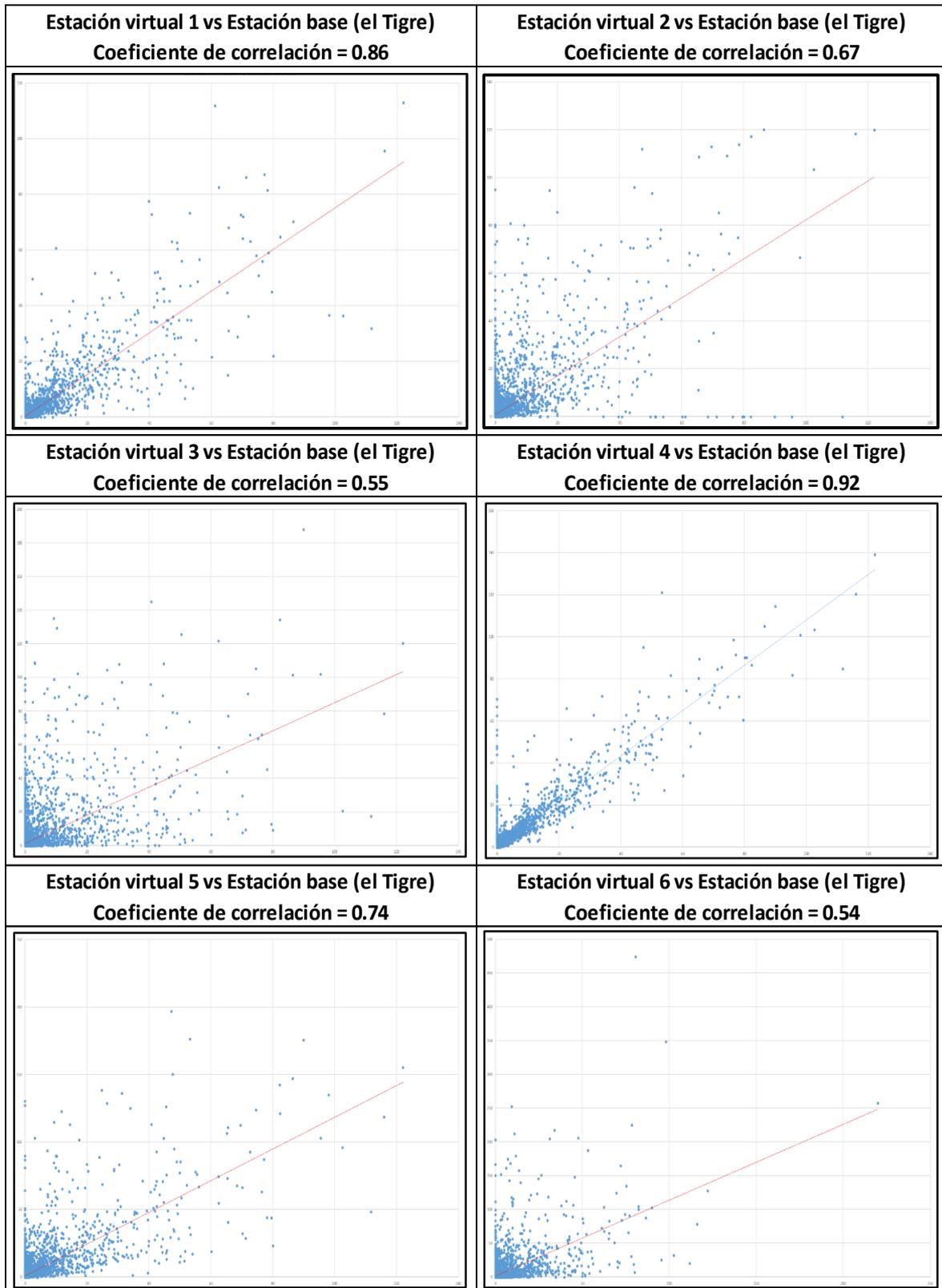


Figura 36 : Análisis de doble masa

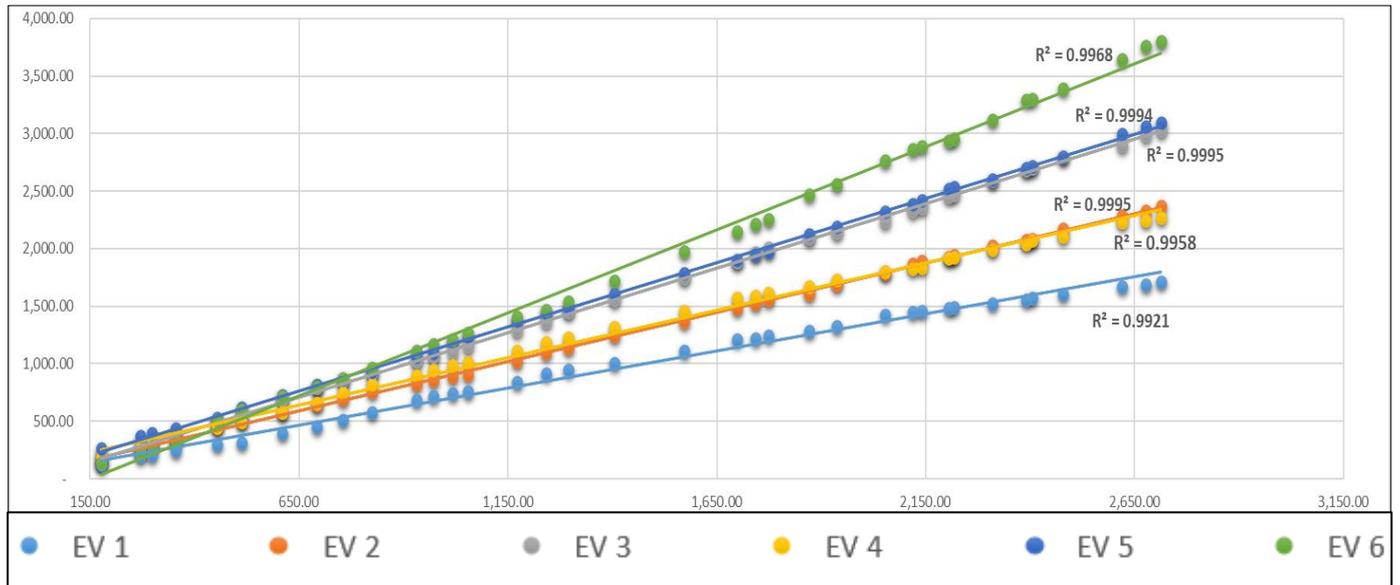


Figura 37 : Prueba de datos dudosos

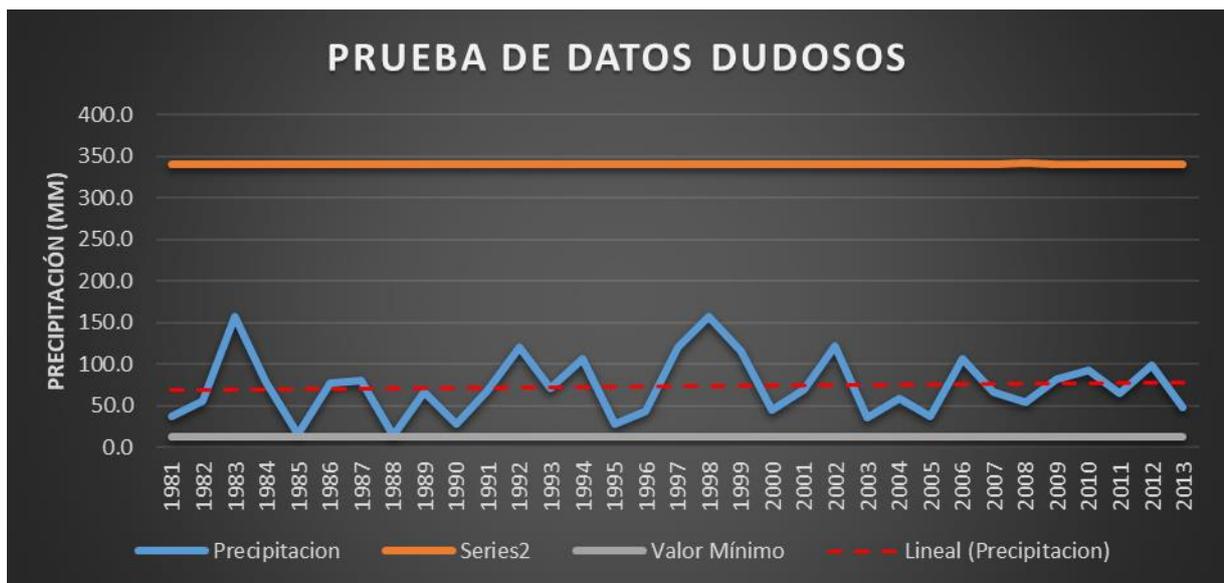


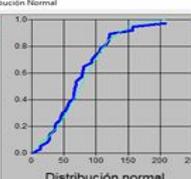
Figura 38 : Modelos probabilísticos

Distribución Normal

Delta teórico= 0.0998

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución normal

m	X	PPQ	F23 Ordinal	F23 Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0273	0.0697	0.0453
2	14.789	0.0541	0.0796	0.0798	0.0226
3	24.8737	0.0811	0.1105	0.1122	0.0254
4	27.4998	0.1081	0.1298	0.1254	0.0217
5	28.4046	0.1351	0.1342	0.1299	0.0009
6	35.5731	0.1622	0.1734	0.1638	0.0112
7	36.9892	0.1892	0.1919	0.1775	0.0073
8	37.1381	0.2162	0.1928	0.1784	0.0234

Distribución Log Normal de 2 parámetros

Delta teórico= 0.1059

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución log-normal 2 parámetros

m	X	PPQ	F23 Ordinal	F23 Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0682	0.0682	0.0209
2	14.789	0.0541	0.0913	0.0912	0.0498
3	24.8737	0.0811	0.0956	0.0853	0.0195
4	27.4998	0.1081	0.0984	0.0981	0.0177
5	28.4046	0.1351	0.0990	0.0987	0.0361
6	35.5731	0.1622	0.1787	0.1783	0.0136
7	36.9892	0.1892	0.1921	0.1917	0.0219
8	37.1381	0.2162	0.1938	0.1935	0.0224

Distribución Log Normal de 3 parámetros

Delta teórico= 0.0698

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución log-normal 3 parámetros

m	X	PPQ	Z	F23	Delta
1	13.1766	0.0270	-2.1245	0.0169	0.0302
2	14.789	0.0541	-1.9245	0.0215	0.0306
3	24.8737	0.0811	-1.4302	0.0661	0.0130
4	27.4998	0.1081	-1.2675	0.0873	0.0291
5	28.4046	0.1351	-1.3185	0.0940	0.0411
6	35.5731	0.1622	-0.9750	0.1950	0.0207
7	36.9892	0.1892	-0.8988	0.1688	0.0206
8	37.1381	0.2162	-0.9841	0.1700	0.0482

Distribución Gamma de 2 parámetros

Delta teórico= 0.0671

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución Gamma 2 parámetros

m	X	PPQ	GEV Ordinal	GEV Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0149	0.0337	0.0122
2	14.789	0.0541	0.0282	0.0398	0.0209
3	24.8737	0.0811	0.0725	0.2025	0.0086
4	27.4998	0.1081	0.0931	0.2294	0.0150
5	28.4046	0.1351	0.1002	0.2380	0.0241
6	35.5731	0.1622	0.1630	0.3047	0.0009
7	36.9892	0.1892	0.1786	0.3176	0.0126
8	37.1381	0.2162	0.1780	0.3189	0.0382

Distribución Gamma de 3 parámetros

Delta teórico= 0.05605

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución Gamma 3 parámetros

m	X	PPQ	GEV Ordinal	GEV Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0000	0.0000	0.0270
2	14.789	0.0541	0.0014	0.0031	0.0227
3	24.8737	0.0811	0.0031	0.0055	0.0541
4	27.4998	0.1081	0.0100	0.0103	0.0071
5	28.4046	0.1351	0.0105	0.1100	0.0276
6	35.5731	0.1622	0.1493	0.1693	0.0071
7	36.9892	0.1892	0.1778	0.1820	0.0114
8	37.1381	0.2162	0.1792	0.1834	0.0371

Distribución Log-Pearson tipo III

No se ajusta

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución log-Pearson tipo III

m	X	PPQ	GEV Ordinal	GEV Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0000	0.0000	0.0270
2	14.789	0.0541	0.0000	0.0000	0.0541
3	24.8737	0.0811	0.0000	0.0000	0.0811
4	27.4998	0.1081	0.0000	0.0654	0.1081
5	28.4046	0.1351	0.0000	0.0764	0.1351
6	35.5731	0.1622	0.0000	0.1787	0.1622
7	36.9892	0.1892	0.0000	0.2004	0.1892
8	37.1381	0.2162	0.0000	0.2027	0.2162

Distribución Gumbel

Delta teórico= 0.0549

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797



Distribución Gumbel

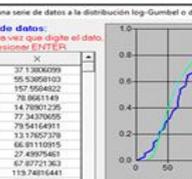
m	X	PPQ	GEV Ordinal	GEV Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0261	0.0307	0.0009
2	14.789	0.0541	0.0210	0.0360	0.0171
3	24.8737	0.0811	0.0748	0.0823	0.0062
4	27.4998	0.1081	0.0822	0.1001	0.0191
5	28.4046	0.1351	0.0862	0.1062	0.0370
6	35.5731	0.1622	0.1571	0.1617	0.0091
7	36.9892	0.1892	0.1654	0.1729	0.0208
8	37.1381	0.2162	0.1687	0.1752	0.0495

Distribución LogGumbel

Delta teórico= 0.1765

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presione ENTER

Nº	X
1	37.1380099
2	55.53958103
3	157.5594822
4	78.861149
5	14.78901236
6	77.34370955
7	79.54164911
8	13.17657378
9	66.81110915
10	27.49975461
11	67.87271363
12	119.74816441
13	70.22593601
14	106.34149797

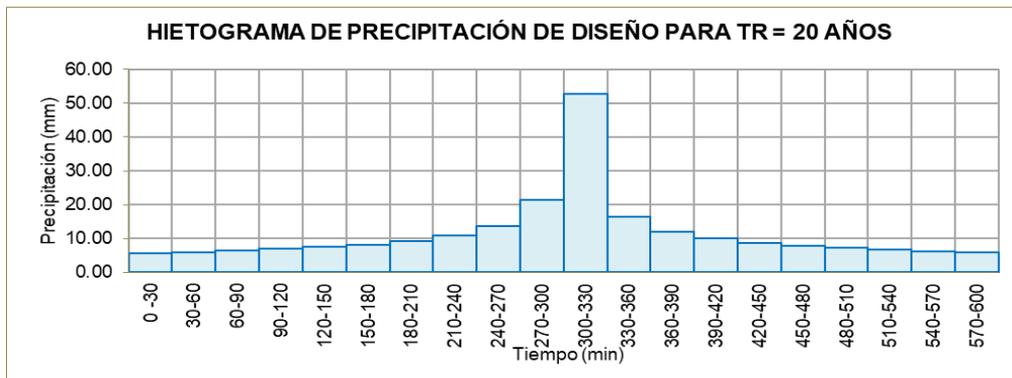
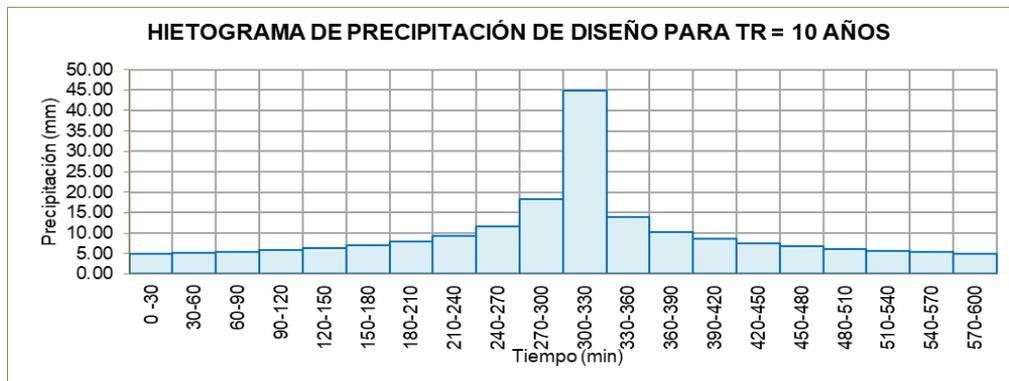
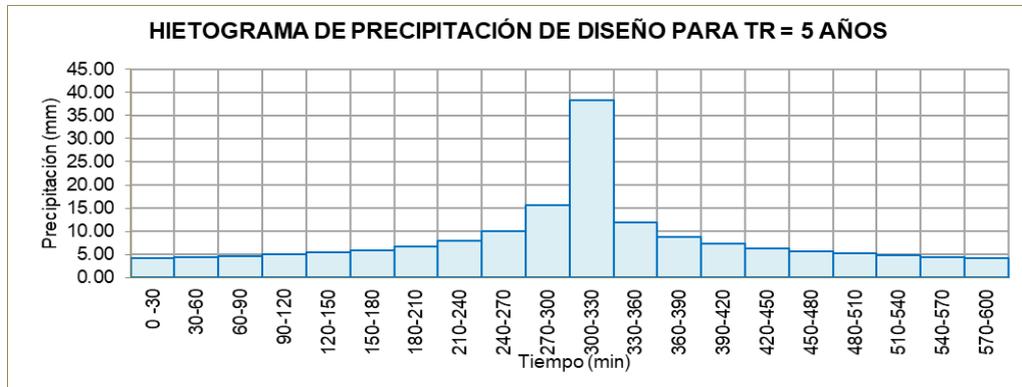
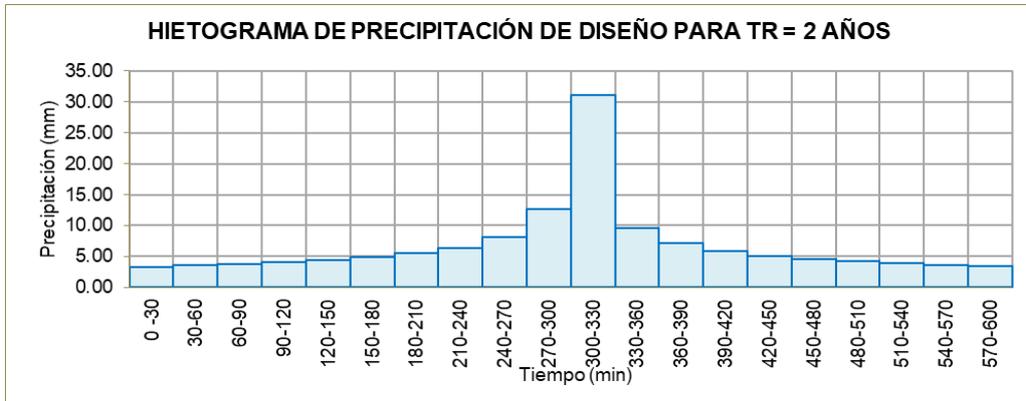


Distribución log-Gumbel

m	X	PPQ	GEV Ordinal	GEV Mon Lineal	Delta
1	13.1766	0.0270	0.0000	0.0000	0.0270
2	14.789	0.0541	0.0000	0.0001	0.0549
3	24.8737	0.0811	0.0004	0.0274	0.0806
4	27.4998	0.1081	0.0001	0.0440	0.0641
5	28.4046	0.1351	0.0036	0.0649	0.0815
6	35.5731	0.1622	0.1564	0.1706	0.0057
7	36.9892	0.1892	0.1601	0.1843	0.0091
8	37.1381	0.2162	0.1826	0.1968	0.0336

ANEXO 5: HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN

Figura 39 : Hietogramas para diferentes periodos de retorno



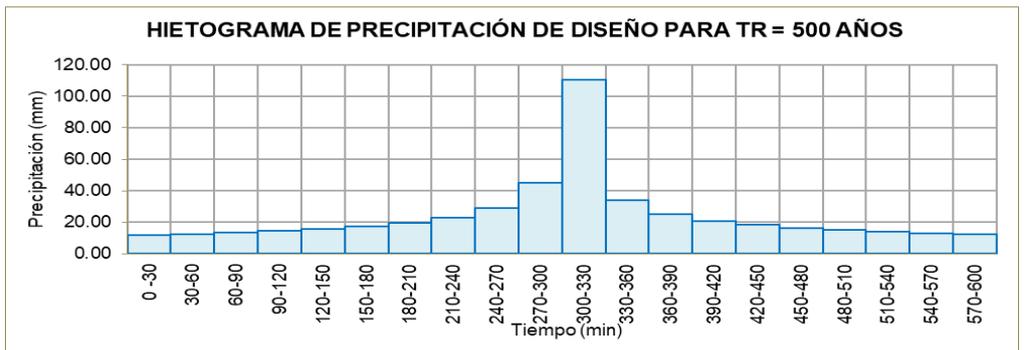
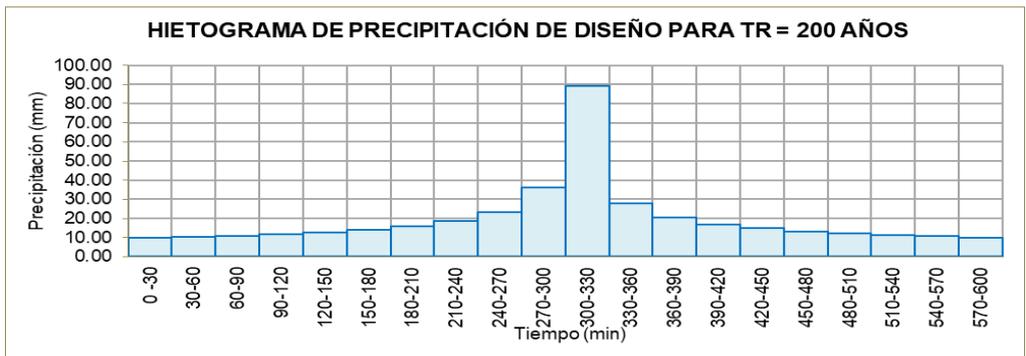
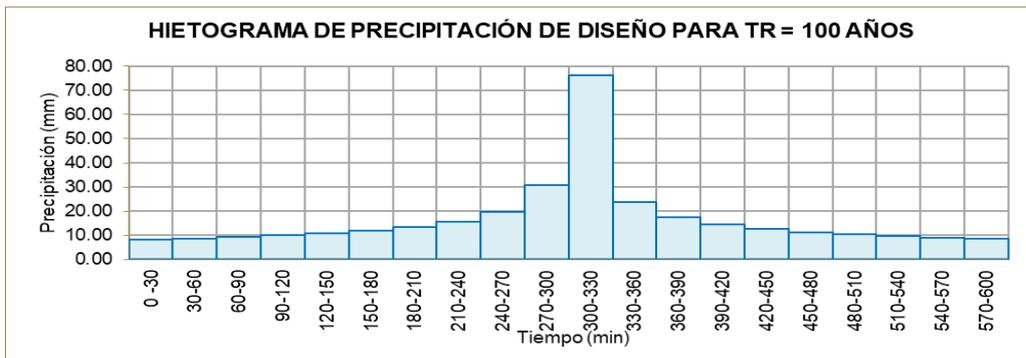
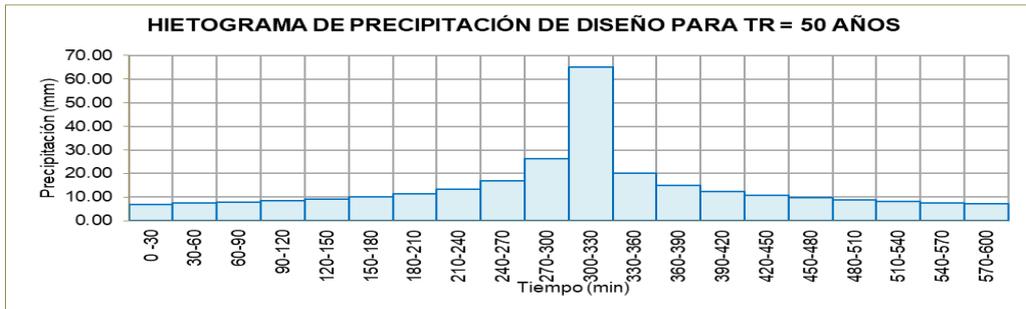
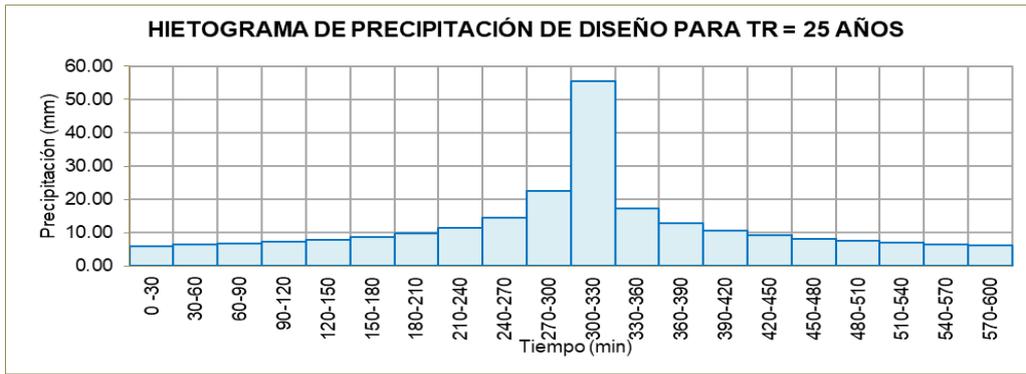


Figura 40 : Creación de un proyecto

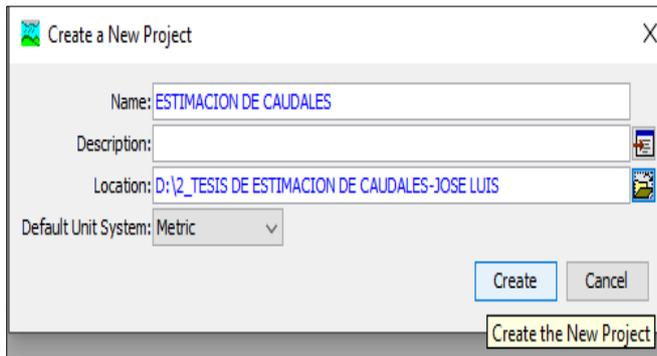


Figura 41 : Definición del modelo de cuenca

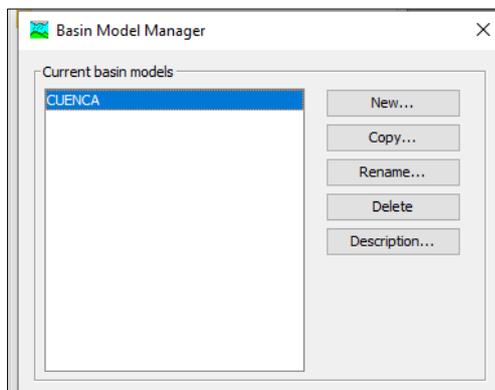


Figura 42 : Creación del elemento Subbasin (subcuenca) y Sink (aforo)

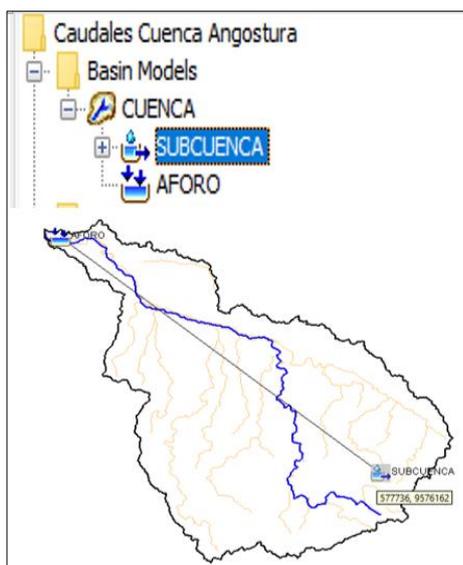


Figura 43 : Información del Elemento Subbasin

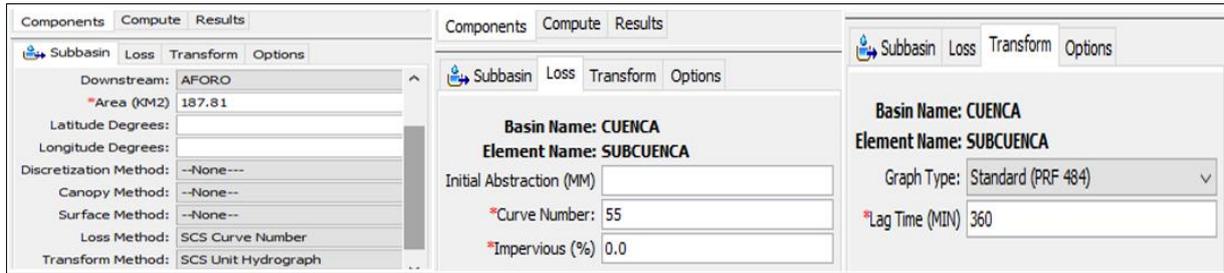


Figura 44 : Creación de Componente Time Series Data Manager

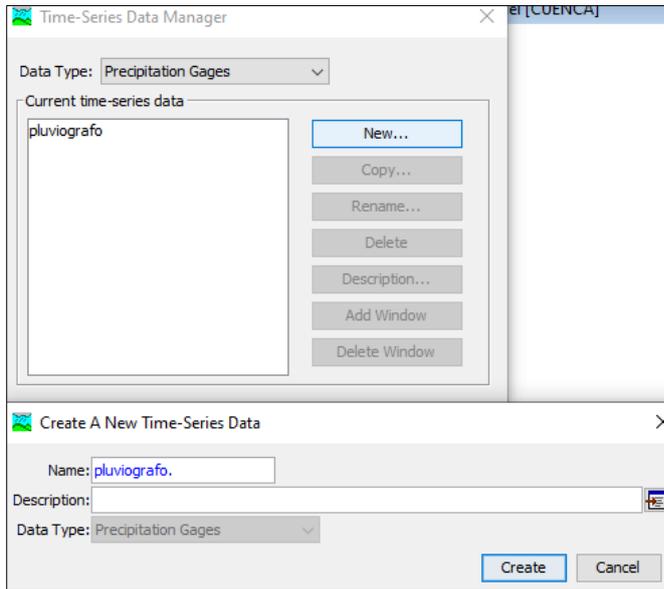


Figura 45 : Información del elemento Pluviógrafo (Tr 50 años)

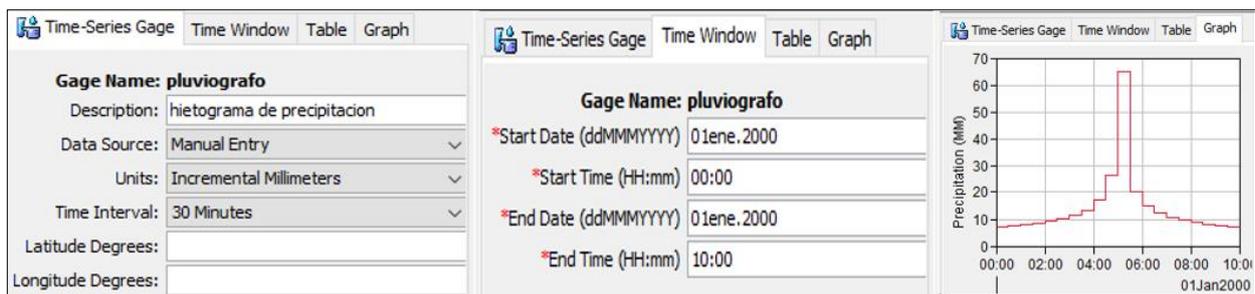


Figura 46 : Creación de componente Meteorologic Model Manager

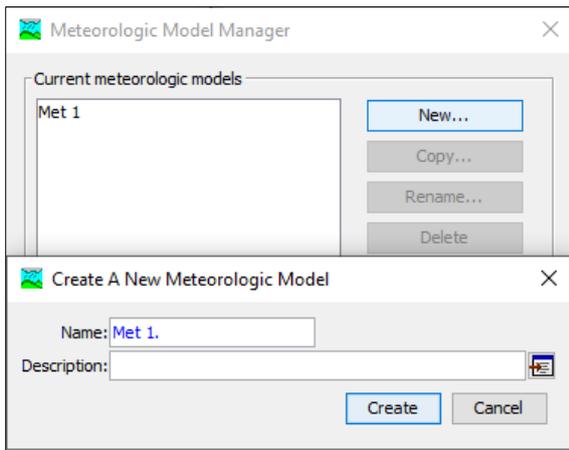


Figura 47 : Información de componente meteorologic model manager

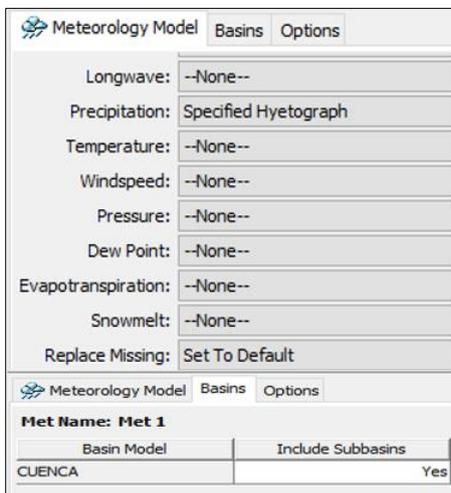


Figura 48 : Creación de componente Control Specifications Manager

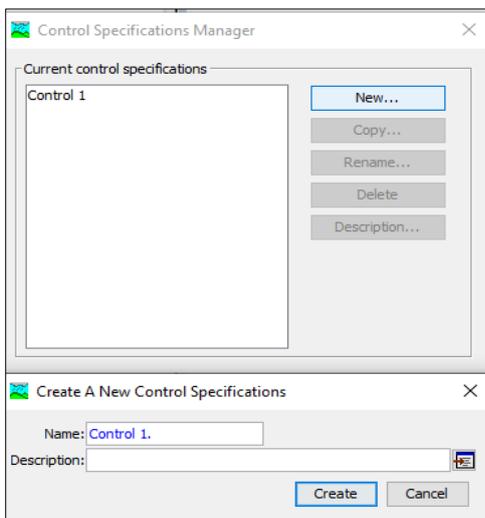


Figura 49 : Información de componente Control Specifications Manager

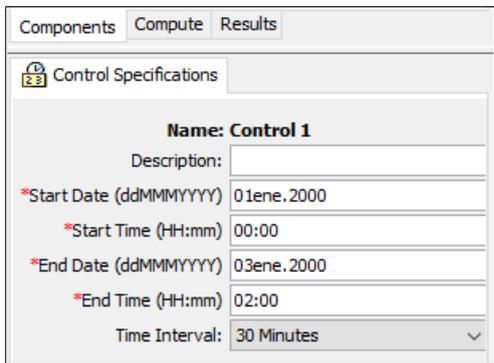


Figura 50 : Creación de la Simulación Con Hec-Hms

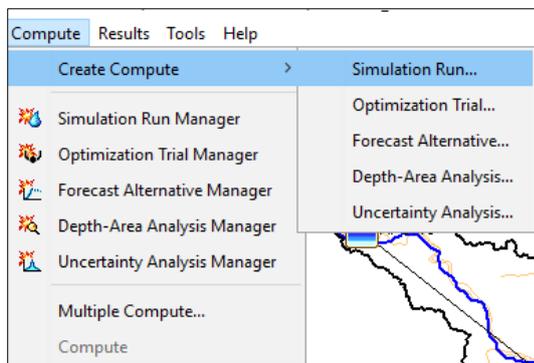


Figura 51 : Resultados de simulación

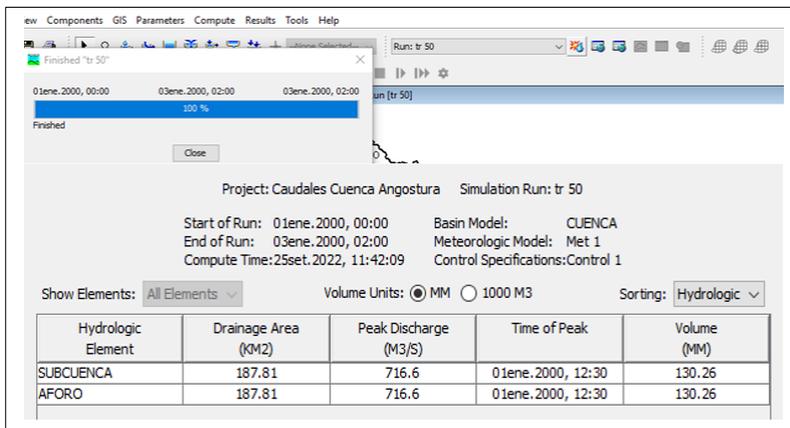


Figura 52 : Hidrograma para un TR 2

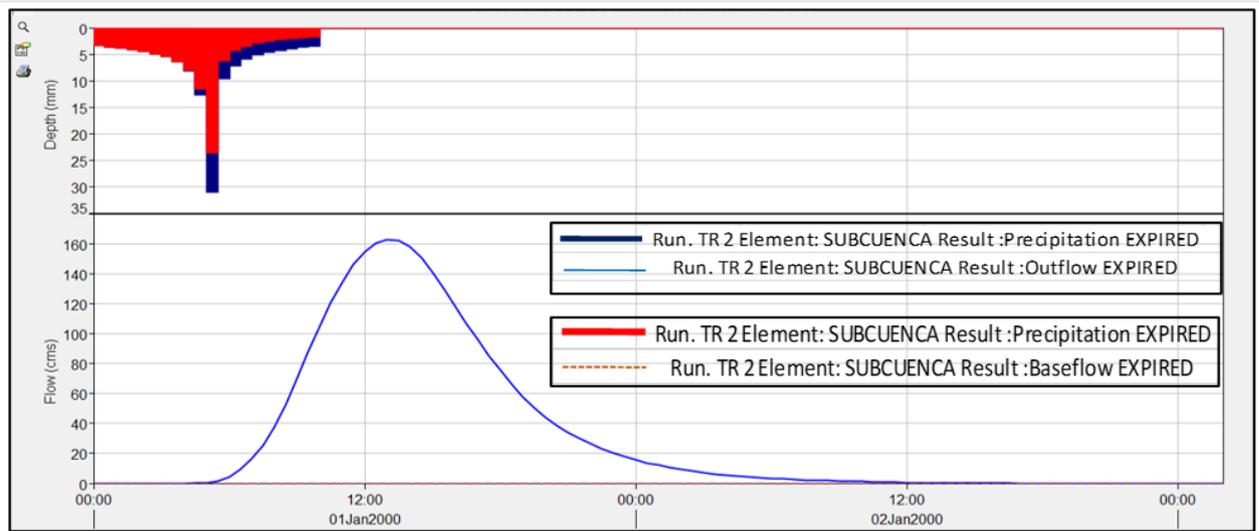


Figura 53 : TR Hidrograma para un 5 Años

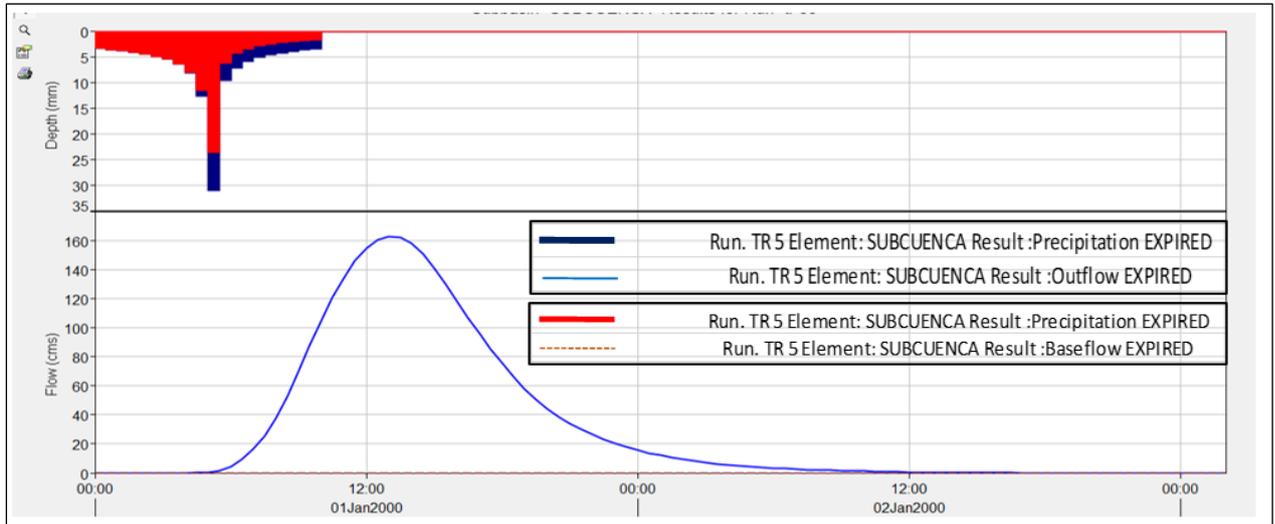


Figura 54 : Hidrograma para un TR 10 Años

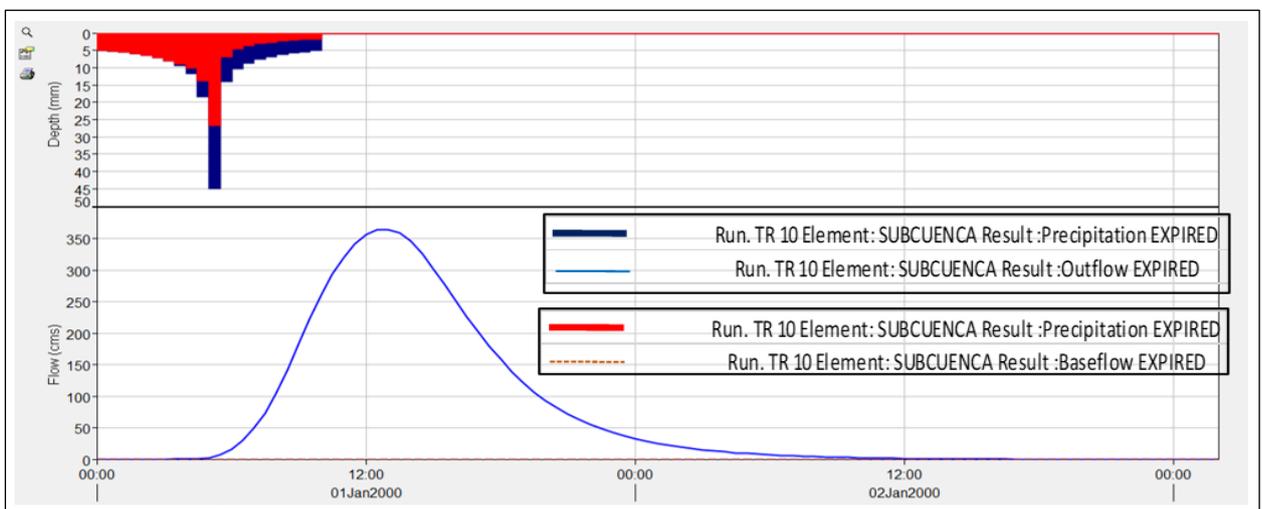


Figura 55 : Hidrograma para un TR 20 Años

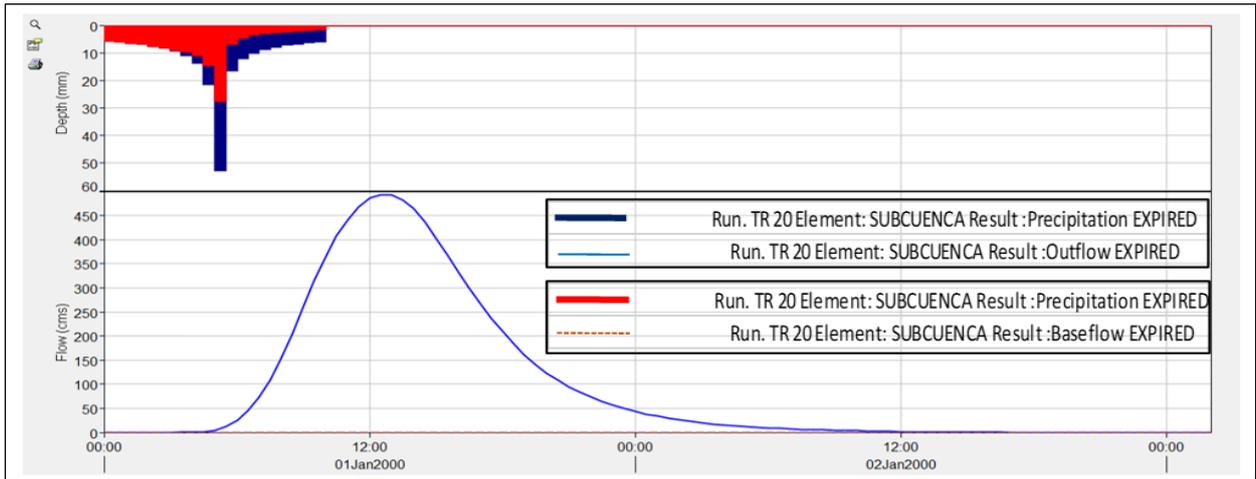


Figura 56 : Hidrograma para un TR 25 Años

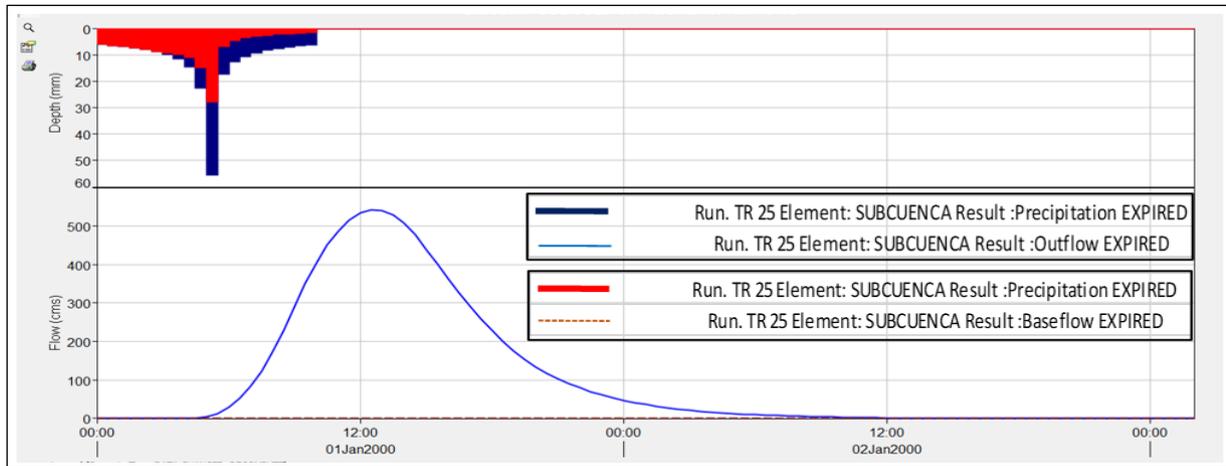


Figura 57 : Hidrograma para un TR 50 Años

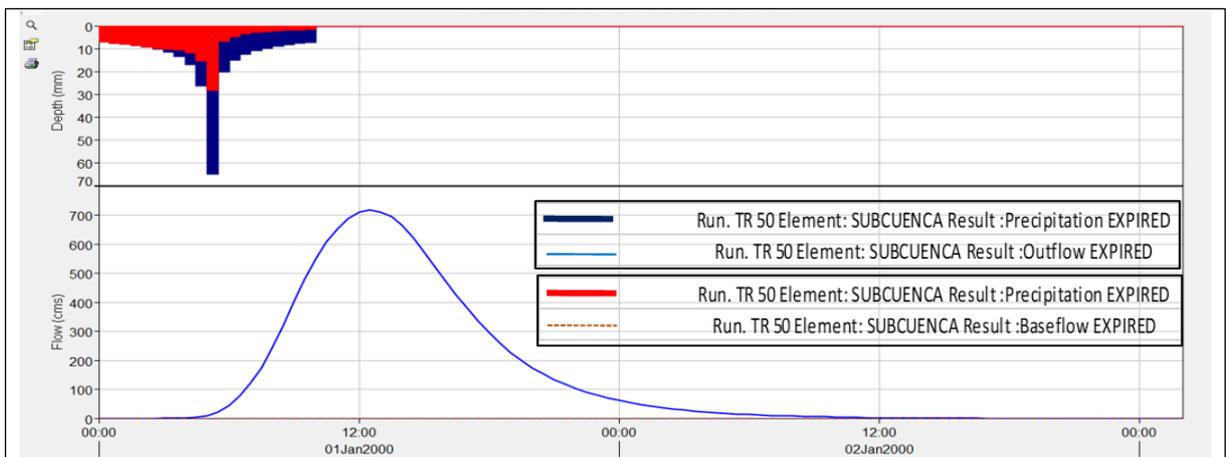


Figura 58 : Hidrograma para un TR 100 Años

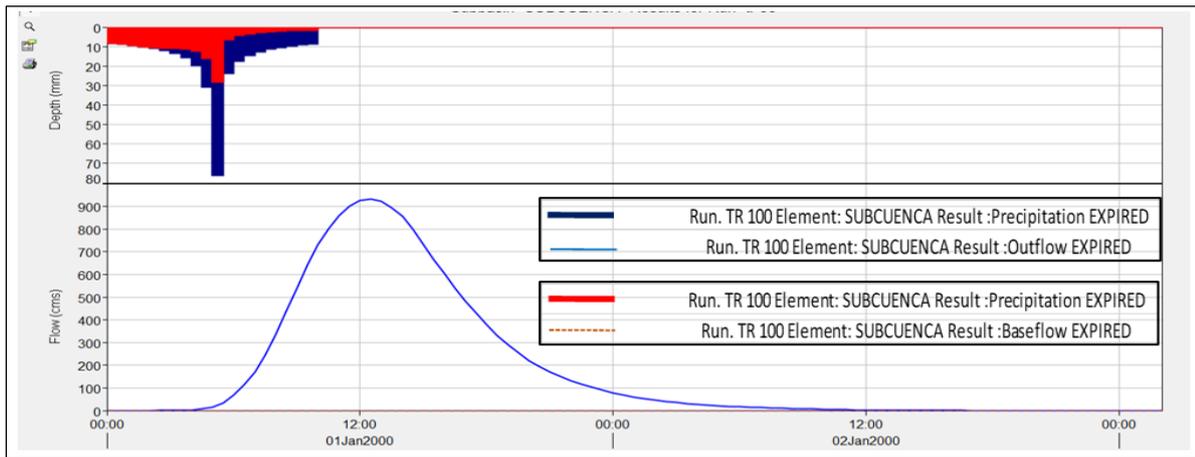


Figura 59 : Hidrograma para un TR 200 Años

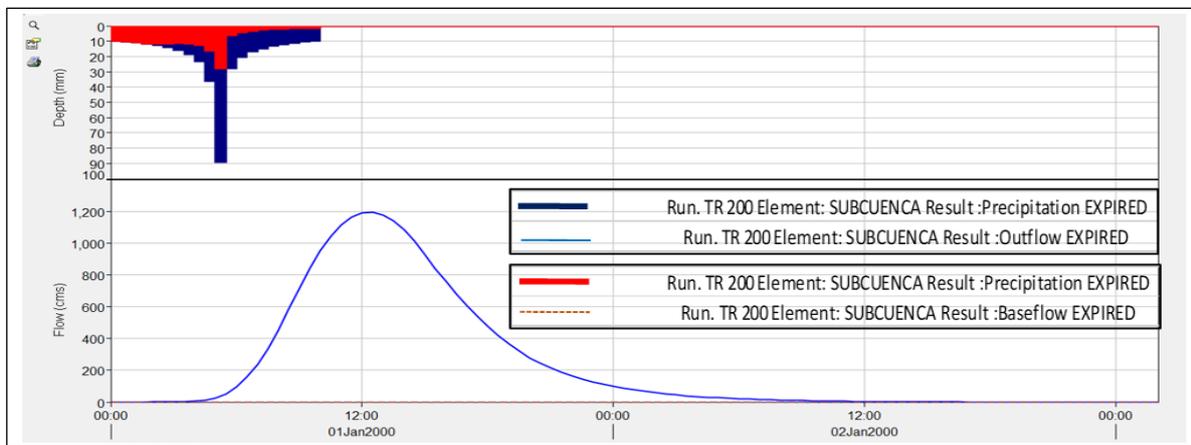


Figura 60 : Hidrograma para un TR 500 Años

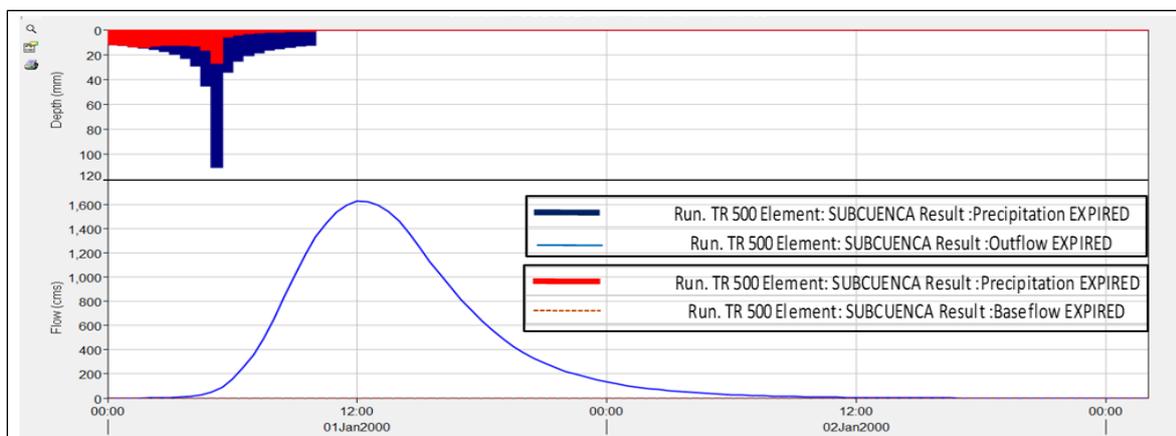
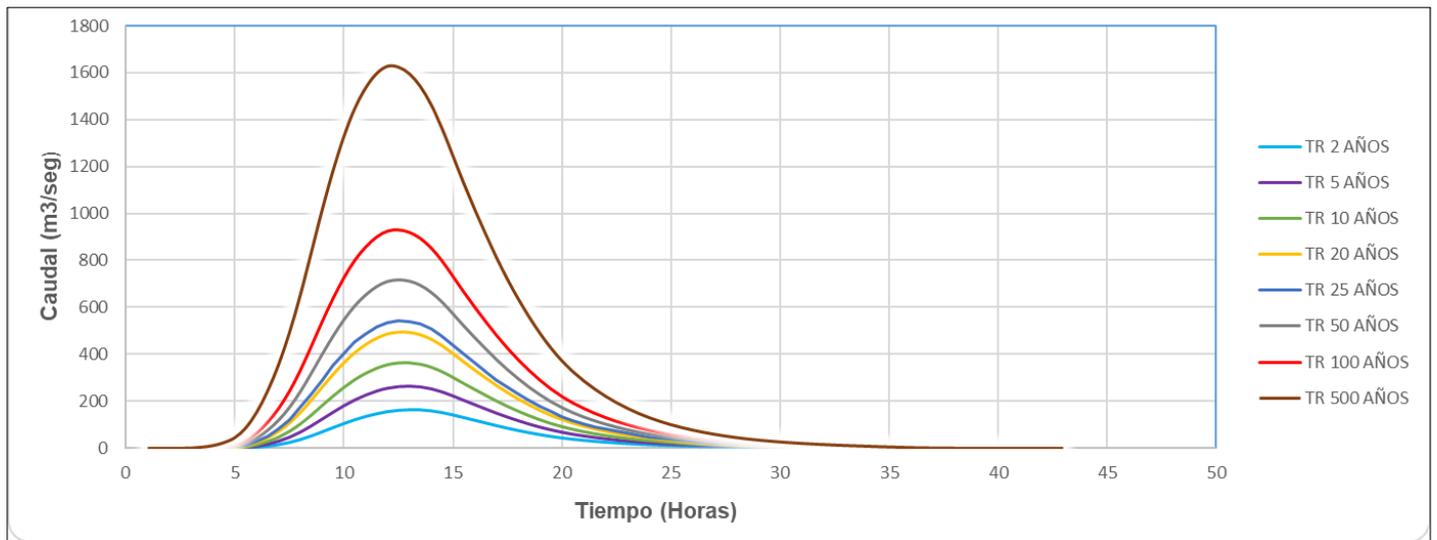


Figura 61 : Hidrograma de caudales



ANEXO 7: INDICATIVOS REFERENCIALES PARA CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Tabla 25 : Valores referenciales para Áreas de Cuencas

Clasificación de tamaños de cuencas	
Rangos de áreas (km ²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Campos Aranda (1992)

Tabla 26 : Valores referenciales para Factor de Forma

Rangos de K_f	Clases de forma
.01-.18	Muy poco achatada
.18-.36	Ligeramente achatada
.36-.54	Moderadamente achatada

Fuente: IBAL, S. (2009).

Tabla 27 : Valores Referenciales para Coeficiente de Masividad.

Tabla 8. Clases de valores de masividad	
Rangos de K_m	Clases de masividad
0-35	Muy Montañosa
35-70	Montañosa
70-105	Moderadamente montañosa

Fuente: IBAL, S. (2009).

Tabla 28 : Valores Referenciales para Densidad de Drenaje

Densidad de drenaje	Valor de D	Textura
Baja	3-14	Grosera
Media	12-16	Media
Alta	30-40	Fina
Muy Alta	200-500	Ultrafina

Fuente: IBAL, S. (2009).

Tabla 29 : Valores referenciales para Índice de compacidad o Coeficiente de gravilius

Índice K_c	Descripción
1 - 1,25	Redonda - ovalo redonda
1,25 - 1,5	Ovalo redonda - ovalo oblonga
1,5 - 1,75	Ovalo oblonga - rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular Oblonga - Muy lobuladas

Fuente: Gaspari et al. (2012).

Tabla 30 : Valores Referenciales para Pendiente de la Cuenca.

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 -35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy Fuerte
>75	Escarpado

Fuente: Ortiz Vera (2004).

Tabla 31 : Valores Referenciales para Pendiente del Cauce

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Fuente: IBAL, S. (2009).

ANEXO 8: RECORRIDO POR LA SUBCUENCA ANGOSTURA

Figura 62 : Desembocadura de la Quebrada Cabuyal en el Rio Tumbes (Estiaje)



Figura 63 : Investigador rumbo al sector el Caucho



Figura 64 : Zona tipo bosque en la subcuena Angostura



ANEXO 9: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMA GENERAL Y ESPECÍFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	HIPOTESIS GENERAL Y ESPECÍFICOS	VARIABLES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura mediante la data Grillada Pisco– Tumbes 2022	<p>PROBLEMA GENERAL ¿Se puede estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en la subcuenca Angostura mediante el análisis de las precipitaciones diarias que nos brinda la data Grillada Pisco?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>1- ¿Cuáles son las características geomorfológicas de la subcuenca Angostura?</p> <p>2- ¿Cuál es la importancia de realizar un análisis estadístico en datos de precipitación máxima en 24 horas?</p> <p>3. ¿Es posible obtener las curvas IDF utilizando el método IIIa Senamhi en la subcuenca Angostura?</p> <p>4. ¿Cuáles son los caudales obtenidos al aplicar la modelación hidrológica Hec Hms, método Racional modificado y Creager?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL - Estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en la subcuenca Angostura mediante el análisis de las precipitaciones diarias usando la data grillada Pisco..</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1. Determinar las características geomorfológicas en la subcuenca Angostura.</p> <p>2. Realizar el análisis estadístico en datos de precipitación máxima en 24 horas.</p> <p>3. Obtener las curvas IDF utilizando el método IIIa Senamhi en la subcuenca angostura.</p> <p>4. Estimar y comparar los caudales máximos de diseño obtenidos en la modelación hidrológica Hec Hms, método Racional modificado y Creager.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL - Mediante el análisis de precipitaciones diarias usando la data Grillada Pisco, será posible la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno en la cuenca Angostura.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>1. La morfología de la subcuenca Angostura presenta características definidas sobre cuencas costeras que vierten sus aguas al Océano Pacífico.</p> <p>2. El análisis estadístico de datos de precipitación máxima en 24 horas permitirá determinar la homogeneidad y tendencia.</p> <p>3. El método IIIa Senamhi permitirá obtener las curvas IDF en la subcuenca Angostura.</p> <p>4. Los caudales máximos obtenidos servirán para el diseño de futuras obras hidráulicas en la subcuenca angostura.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>- Precipitación</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>- Caudal</p>	No experimental Cuantitativo, Descriptivo, Explicativo	<p>1- METODO Descriptivo</p> <p>2- TECNICA DE INVESTIGACIÓN Observación</p>	<p>POBLACIÓN</p> <p>- Las subcuencas de la región Tumbes</p> <p>MUESTRA</p> <p>- Subcuenca Angostura.</p>

