

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Estimación de la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN para
predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de
Ccayarpachi, Ayacucho, 2023**

**Tesis para optar el título profesional de
Ingeniera Civil**

Presentado por:

Bach. Milagros Nieto Huaihua

Asesor:

Ing. Edwin Carlos García Saez

Ayacucho - Perú

2024

Resumen

Mediante el siguiente trabajo se logró estimar la escorrentía directa, con un caudal de diseño de $Q=712.9 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de $TR=100$ años a partir de la precipitación efectiva, generado por las precipitaciones máximas diarias anuales procesados del PISCO - SENAMHI generando los hietogramas de diseño de 9.708 mm, 12.934 mm y 8.352 mm como altura máxima de precipitación para el modelamiento hidrológico de la cuenca y la metodología utilizada en la presenta investigación es el método SCS-CN con un número de curva entre $CN=90$ a $CN=92$ para las subcuencas donde tenemos una alta impermeabilidad lo que nos indica que tenemos una alta precipitación efectiva y poca pérdida por infiltración y evapotranspiración donde esta metodología nos ayuda sobre todo en cuencas donde no se cuenta con mucha información hidrometeorológica, determina la cantidad de precipitación efectiva que será transitada de acuerdo a los usos y coberturas de suelos, ya que es importante para determinar el número de curva de la cuenca y de ello dependerá la cantidad de altura de precipitación que transitará, concluyendo y cumpliendo los objetivos planteados, inicialmente como es la determinación de la escorrentía directa calculando el hidrograma de diseño.

Palabras clave: SCS-CN, escorrentía superficial, usos de suelo , caudal de diseño, LULC(uso de suelo y cobertura de suelo).

Abstract

The following work aimed to estimate direct runoff with a design discharge for a return period of $Q=712.9 \text{ m}^3/\text{s}$ for return time of $TR=100$ years based on effective precipitation. This was derived from annual maximum daily rainfall data processed from PISCO - SENAMHI, generating design hyetographs of 9.708 mm, 12.934 mm, and 8.352 mm as maximum precipitation heights for hydrological modeling of the basin. The methodology utilized in this research is the SCS-CN method with a curve number ranging from $CN = 90$ to $CN = 92$ for sub-basins characterized by high impermeability. This indicates high effective precipitation and minimal losses due to infiltration and evapotranspiration, making the SCS-CN method particularly useful in basins lacking extensive hydrometeorological data. It helps determine the amount of effective precipitation that will run off based on land use and soil cover, crucial for determining the basin's curve number and consequently the amount of precipitation height that will transit, In conclusion, the objectives were met, particularly in determining direct runoff by calculating the design hydrograph.

Keywords: SCS-CN, surface runoff, land use, design flow, LULC (land use and land cover) .

Introducción

Encontramos problemas de inundación sobre todo en la agricultura en la cuenca de la comunidad de Ccayarpachi del distrito de Santiago de Pischa donde se localiza el río Cachi y según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) pertenece a la cuenca de Mantaro donde están incluidos cuencas de Junín, Huamanga, Huancavelica y Pasco en tiempo de máximas avenidas se tiene problemas con la inundación la pérdida de áreas de cultivo a veces la situación es demasiado crítico e incontrolable ocasionando el incremento de los caudales del río Cachi, así como el colapso de los sistemas de drenaje, pérdida de áreas de cultivo y deficiente evacuación de aguas pluviales.

A través del procesamiento de datos con el instrumento de registros de datos históricos obtenidos del PISCO SENAMHI y la técnica de análisis documental se pudo procesar los datos para la obtención del análisis de resultados y conclusiones para el logro de los objetivos propuestos en la presente investigación.

A continuación presentaremos un breve resumen de cada capítulo que se desarrolló en la tesis.

- **Capítulo 1 Planteamiento del problema:** Descripción del problema, formulación del problema, justificación e importancia de la investigación, objetivos, hipótesis, donde encontramos los antecedentes internacionales y nacionales como precedentes para la presente investigación tomando en cuenta las metodologías y objetivos realizados en investigaciones paralelas en tiempo y espacio.
- **Capítulo 2 Marco Teórico:** Se desarrolla antecedentes, base teórico, marco conceptual donde la revisión de la literatura es fundamental para determinar las variables de análisis para su definición y operacionalización de variables y para la estructuración del título de la investigación. .
- **Capítulo 3 Metodología de Investigación:** Enfoque, Alcance, Diseño de investigación, Población y Muestra, Hipótesis, Operacionalización de variables, Técnicas e Instrumentos, Desarrollo del trabajo de tesis.
- **Capítulo 4 Análisis de resultado de la investigación:** Análisis de resultados, herramienta de evaluación software HEC HMS, IBER AULA V.3.2, y HEC-RAS para determinar el comportamiento hidrológico e hidráulico.
- **Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones:** Presentamos las conclusiones de la investigación y la recomendación en relación a los objetivos planteados.
- **Referencias bibliográficas:** Presentamos información de los materiales consultados, citados durante el desarrollo de la tesis.
- **Anexos.**

Dedicatoria

*Al Dios supremo por permitirme cumplir mis
sueños.*

*A mis padres, Víctor y Eulogia por inculcarme
respeto, deseo de superación y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos, Dora, Vilma, Luis, Esmeralda,
Vanesa por su orientación, paciencia y apoyo en
todo momento.*

Agradecimientos

A mi alma mater la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga y a todos los docentes de la escuela de Ingeniería Civil por contribuir en mi formación académica e impartir conocimientos para mi formación profesional.

Al Msc. Ing. Jaime Leonardo, BENDEZÚ PRADO, por su tiempo y dedicación en la realización de mi borrador recomendaciones, apreciaciones y por brindarme la formulación del presente trabajo de investigación.

Al Msc. Ing. Edward, LEÓN PALACIOS, por todo el apoyo y consejos brindados durante la revisión de este trabajo de Investigación.

Al Msc. Ing. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ, por el asesoramiento para la formulación del presente trabajo de investigación.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos nos forjaron ser buenos profesionales y a mis amistades que de forma directa o indirecta hicieron posible la elaboración de esta tesis.

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho, 2024

Bach. Milagros NIETO HUAIHUA

Índice general

Resumen	i
Introducción	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xvii
Glosario	xix
Acrónimos	xxi
Símbolos	xxii
1 Planteamiento del problema	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Delimitación del problema	1
1.2.1 Espacial	1
1.2.2 Temporal	2
1.2.3 Temática y unidad de análisis	3
1.2.4 Temática	3
1.2.5 Unidad de análisis	3
1.3 Formulación del problema	3
1.3.1 Problema general	3
1.3.2 Problemas específicos	3
1.4 Justificación e importancia	3
1.5 Limitaciones o restricciones	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo general	4
1.6.2 Objetivos específicos	4
2 Marco teórico	5
2.1 Antecedentes	5
2.1.1 Investigaciones internacionales.	5

2.1.2	Investigaciones nacionales	6
2.2	Bases teóricas	6
2.2.1	Hidráulica básica del Flujo	6
2.2.2	Ecuación de Saint Venant 2D	7
2.2.3	Modelación de Inundaciones	8
2.2.3.1	Selección de Modelo	8
2.2.3.2	Discretización del Dominio	9
2.2.3.3	Análisis	9
2.2.3.4	Post Procesado	9
2.2.4	Tipos de flujo	10
2.2.4.1	Flujo permanente	10
2.2.4.2	Flujo no permanente	11
2.2.5	Modelación Hidrológica con HEC- HMS	11
2.2.6	Parámetros de Escorrentía y Tiempo de concentración	11
2.2.6.1	Método de Kirpich	11
2.2.6.2	Método de Hataway	12
2.2.6.3	Método de US crops of Engineers	12
2.2.6.4	Tiempo Pico	12
2.2.7	Modelamiento utilizando HEC-RAS	13
2.2.8	2D flujo computacional	13
2.2.9	Controles estabilidad y fuentes de error del modelo 2D	13
2.2.10	Área de malla 2D y selección del tamaño de celda	14
2.2.11	simulación	14
2.2.12	Cuenca Hidrográfica	15
2.2.13	Escorrentía superficial directa	16
2.2.14	Coeficiente de escorrentía	16
2.2.15	Hietograma	17
2.2.16	Hidrograma	18
2.2.17	Inundación	19
2.2.17.1	Tipos de inundaciones	19
2.2.18	Precipitación	20
2.2.19	Temperatura	20
2.2.20	Modelo SCS	20
2.2.21	Dataset Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A	22
2.2.22	MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature Daily Global 1km	25
2.2.23	USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1	28

2.2.23.1	Índice de cuerpos de agua y contenido de agua en las plantas	30
2.2.23.2	Índices para vegetación	30
2.2.23.3	Índices para textura de suelos	31
2.3	Marco conceptual	32
2.3.1	Hidrología	32
2.3.2	Hidráulica fluvial	32
2.3.2.1	Gasto o caudal de un río	32
2.3.2.2	La rugosidad de un río	33
2.3.2.3	talud (z)	33
2.3.2.4	Tirante(y)	33
2.3.2.5	Borde libre	33
2.3.2.6	Profundidad total	33
2.3.3	Escorrentía superficial	33
2.3.4	Causas de la escorrentía superficial	34
2.3.4.1	Lluvias Intensas	34
2.3.4.2	Deshielo	34
2.3.4.3	Riego Excesivo	34
2.3.5	Rutas de Flujo de escorrentía superficial	34
2.3.6	Velocidad de Respuesta de escorrentía superficial	34
2.3.7	Impactos Ambientales	34
2.3.8	Gestión y Mitigación	34
2.3.9	Planificación del Uso del Suelo	34
2.3.10	Factor Climático	35
2.3.10.1	Temperatura	35
2.3.10.2	Precipitación	35
2.3.10.3	Viento	35
2.3.10.4	Presión Atmosférica	35
2.3.10.5	Humedad Atmosférica	35
2.3.10.6	Radiación solar	35
2.3.10.7	Altitud y Topografía	36
2.3.11	Factor Hidrológico	36
2.3.11.1	Infiltración	36
2.3.11.2	Evaporación	36
2.3.11.3	Transpiración	36
2.3.11.4	Nivel del Agua Subterráneo	36
2.3.11.5	Caudal de los Cuerpos de Agua	36

2.3.11.6 Almacenamiento de Agua en Embalses y Acuíferos	37
2.3.12 Factor hidráulico	37
2.3.12.1 Capacidad de caudal o río	37
2.3.12.2 Sección transversal del río	37
2.3.12.3 Pendiente del río	37
3 Método de la investigación	38
3.1 Enfoque.	38
3.2 Alcance	38
3.3 Diseño de investigación	38
3.4 Población y muestra	38
3.4.1 Población	38
3.4.2 Muestra	38
3.5 Hipótesis	38
3.5.1 Hipótesis general	38
3.5.2 Hipótesis específicas	39
3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual	39
3.6.1 Variables e indicadores	39
3.7 Técnicas e instrumentos	40
3.7.1 Técnicas	40
3.7.2 Instrumentos	40
3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	40
3.9 Desarrollo del trabajo de tesis	40
3.9.1 Área de estudio	40
3.9.1.1 Delimitación y parámetros físicos y morfométricos de la cuenca de Ccayarpachi	41
3.9.1.2 Delimitación de la Cuenca	43
3.9.2 Método del desarrollo de la investigación	50
3.9.3 División de la cuenca en subcuencas	50
3.9.4 Extracción de P _{máx.24Hrs} de PISCO SENAMHI para las subcuencas	53
3.9.5 Completación de datos de P _{máx.24Hrs}	60
3.9.6 Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°01	61
3.9.6.1 Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°01	61
3.9.6.2 Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov	62
3.9.6.3 Elección de la distribución estadística de LogPearsonIII	63
3.9.6.4 Histograma para los datos de LogPearsonIII	63
3.9.6.5 Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno	64

3.9.6.6	Cálculo de las curvas IDF	65
3.9.6.7	Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°01	66
3.9.7	Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°02	68
3.9.7.1	Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°02	68
3.9.7.2	Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov	69
3.9.7.3	Elección de la distribución estadística de PearsonIII	69
3.9.7.4	Histograma para los datos de PearsonIII	70
3.9.7.5	Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno	70
3.9.7.6	Cálculo de las curvas IDF	71
3.9.7.7	Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°02	72
3.9.8	Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°03	73
3.9.8.1	Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°03	73
3.9.8.2	Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov	74
3.9.8.3	Elección de la distribución estadística de PearsonIII	74
3.9.8.4	Histograma para los datos de PearsonIII	75
3.9.8.5	Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno	75
3.9.8.6	Cálculo de las curvas IDF	76
3.9.8.7	Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°03	77
3.9.9	Cálculo del número de Curva para las subcuencas	79
3.9.10	Calibración del modelo para el caudal de diseño actual	85
3.9.10.1	Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°01	85
3.9.10.2	Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°02	86
3.9.10.3	Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°03	87
3.9.10.4	Ingreso de datos al HEC-HMS para calcular el caudal actual	88
3.9.10.5	Caudal actual de salida en HEC-HMS	90
3.9.11	Validación de caudal del río Cachi (método de correntómetro)	92
3.9.11.1	Materiales a utilizar	93
3.9.11.2	Cálculo de caudal	94
3.9.11.3	Creación de la superficie del río para modelamiento hidráulico	95
3.9.11.4	Alineamiento y seccionamiento del río Cachi	96
3.9.12	Modelamiento con HEC HMS para caudal de diseño para TR= 100 años	97
3.9.12.1	Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca1	98
3.9.12.2	Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca2	99
3.9.12.3	Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca3	99
3.9.12.4	Ingreso al programa IBER para el modelamiento hidrológico	100
3.9.12.5	Ingreso al programa HEC-RAS	103

4 Resultados	105
4.1 Resultados HEC-HMS para la Subcuenca 01	105
4.2 Resultados HEC HMS para la subcuenca 02	108
4.3 Resultados HEC HMS para la subcuenca 03	110
4.4 Resultados HEC HMS para la salida de la cuenca	113
4.5 Resultados IBER para el tramo analizado	116
4.6 Resultados HEC-RAS para el tramo analizado	121
5 Conclusiones	130
5.1 Conclusiones	130
5.2 Recomendaciones	131
5.3 Trabajos a futuro	132
Referencias Bibliográficas	133
A Anexos	137
Anexos	137
A.1 Descarga de modelo digital de terreno (DEM)	137
A.2 Perfil longitudinal y secciones transversales	140
A.3 Código para abstracciones de precipitaciones PISCO SENAMHI	143
A.4 Puntos del levantamiento topográfico	145
A.5 Aforamiento y Levantamiento Topográfico	167

Índice de figuras

Figura 1	Ubicación, localización de la Cuenca de Ccayarpachi	2
Figura 2	Dimensiones de modelamiento de inundación	9
Figura 3	Diagrama de Flujo de Modelación Hidráulica bidimensional en ríos	10
Figura 4	Simulación	15
Figura 5	Cuenca Hidrográfica	16
Figura 6	Hietogramas de altura de precipitación	17
Figura 7	Hietograma de intensidades	18
Figura 8	Hidrograma de tormenta aislada	18
Figura 9	Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A.	23
Figura 10	MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km	26
Figura 11	Formato de imagen TIFF para LANDSAT8	29
Figura 12	Operacionalización de variables	39
Figura 13	Tramo de interés	41
Figura 14	Subcuenca de Mantaro de Santiago de Pischa	42
Figura 15	Creación de mosaico de elevación digital de terreno DEM para delimitación	44
Figura 16	Recorte del área de interés del DEM	44
Figura 17	Proyección a la coordenada UTM	45
Figura 18	Corrección y relleno de depresiones con DEM FILL	45
Figura 19	Flujo acumulado de corrientes para delimitación	46
Figura 20	Delimitando del punto de interés	46
Figura 21	Delimitación del Upslope basin	47
Figura 22	Creando máscara de polígono para cortar el DEM FILL	47
Figura 23	Cortando con la máscara el DEM FILL	48
Figura 24	Creación de la red hídrica para las subcuencas	48
Figura 25	Subcuencas de Ccayarpachi	49
Figura 26	Cuenca de Ccayarpachi	49

Figura 27	Cuenca de Ccayarpachi	51
Figura 28	Subcuenca N°01 de Ccayarpachi	51
Figura 29	Subcuenca N°02 de Ccayarpachi	52
Figura 30	Subcuenca N°03 de Ccayarpachi	53
Figura 31	Archivo Raster Brick de las precipitaciones diarias del Pisco Senamhi	55
Figura 32	Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuenca 1	55
Figura 33	Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuenca 2	57
Figura 34	Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuenca 3	58
Figura 35	Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas (Pmáx.24Hrs)	62
Figura 36	Consistencia de los datos de Pmáx.24Hrs para la función de probabilidad del LogPearsonIII	62
Figura 37	Distribución de los datos y el modelo de LogPearsonIII para la Pmáx.24Hrs . . .	63
Figura 38	Histograma para los datos de la Pmáx.24Hrs	63
Figura 39	Pronóstico con función de distribución LogPearsonIII para la Pmáx.24Hrs con un TR=100 años	64
Figura 40	Curvas IDF - Intensidad, Duración y Frecuencia	66
Figura 41	Hietograma para TR=500 años	67
Figura 42	Hietograma para TR=100 años	67
Figura 43	Hietograma para TR=50 años	68
Figura 44	Hietograma para TR=25 años	68
Figura 45	Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas (Pmáx.24Hrs)	68
Figura 46	Consistencia de los datos de Pmáx.24Hrs para la función de probabilidad del PearsonIII	69
Figura 47	Distribución de los datos y el modelo de PearsonIII para la Pmáx.24Hrs	69
Figura 48	Histograma para los datos de la Pmáx.24Hrs	70
Figura 49	Pronóstico con función de distribución PearsonIII para la Pmáx.24Hrs con un TR=100 años	70
Figura 50	Curvas IDF - Intensidad, Duración y Frecuencia	72
Figura 51	Hietograma para TR=500 años	73

Figura 52	Hietograma para TR=100 años	73
Figura 53	Hietograma para TR=50 años	73
Figura 54	Hietograma para TR=25 años	73
Figura 55	Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas (Pmáx.24Hrs)	74
Figura 56	Consistencia de los datos de Pmáx.24Hrs para la función de probabilidad del PearsonIII	74
Figura 57	Distribución de los datos y el modelo de PearsonIII para la Pmáx.24Hrs	75
Figura 58	Histograma para los datos de la Pmáx.24Hrs	75
Figura 59	Pronóstico con función de distribución PearsonIII para la Pmáx.24Hrs con un TR=100 años	76
Figura 60	Curvas IDF - Intensidad, Duración y Frecuencia	77
Figura 61	Hietograma para TR=500 años	78
Figura 62	Hietograma para TR=100 años	78
Figura 63	Hietograma para TR=50 años	78
Figura 64	Hietograma para TR=25 años	78
Figura 65	Formato DEM para elaboración de número de curva	80
Figura 66	Usos y Coberturas de suelos	80
Figura 67	Número de curvas	81
Figura 68	Valores mínimo, máximo y valor medio de número de curva para la subcuenca de Ccayarpachi	81
Figura 69	Número de curva para la subcuenca 01	82
Figura 70	Valores mínimo, máximo y valor medio de número de curva para la subcuenca1	82
Figura 71	Número de curva para la subcuenca 02	83
Figura 72	Valores mínimo, máximo y valor medio de número de curva para la subcuenca2	83
Figura 73	Número de curva para la subcuenca 03	84
Figura 74	Valores mínimo, máximo y valor medio de número de curva para la subcuenca3	84
Figura 75	Hietograma para el año 2024	85
Figura 76	Hietograma para el año 2024	86
Figura 77	Hietograma para el año 2024	87

Figura 78	Hietograma para la validación del caudal en la subcuenca1	88
Figura 79	Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS	88
Figura 80	Hietograma para la validación del caudal en la subcuenca2	89
Figura 81	Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS	89
Figura 82	Hietograma para la validación del caudal en la subcuenca3	89
Figura 83	Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS	89
Figura 84	Hidrograma de salida de todas las subcuencas para el caudal actual	90
Figura 85	Hidrograma de salida de la subcuenca de Ccayarpachi	90
Figura 86	Aforo en el río Cachi	93
Figura 87	Sección del río Cachi	94
Figura 88	Imagen satelital Georeferenciado ORTOFOTO	95
Figura 89	Creación de la superficie del río	96
Figura 90	Alineamiento y seccionamiento del tramo de interés del río Cachi	96
Figura 91	Ingreso y creación del modelo en HEC-HMS	97
Figura 92	Ingreso de datos de la cuenca al HEC-HMS	98
Figura 93	Hietograma para la subcuenca1	98
Figura 94	Valores del hietograma cargados al HEC-HMS	98
Figura 95	Hietograma para la subcuenca2	99
Figura 96	Valores del hietograma cargados al HEC-HMS	99
Figura 97	Hietograma para la subcuenca3	99
Figura 98	Valores del hietograma cargados al HEC-HMS	99
Figura 99	Tramo de interés para modelamiento	101
Figura 100	Creación de la malla RTIN para aplicación de volúmenes finitos en el modelo	101
Figura 101	Condiciones de entrada al programa IBER AULA V.3.3.1	102
Figura 102	IBER AULA procesado para la visualización de resultados	102
Figura 103	Seccionamiento en Civil 3D para ingreso al HEC-RAS	103
Figura 104	Ingreso del seccionamiento en HEC-RAS	104
Figura 105	Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1	105
Figura 106	Hidrograma de cuadal de diseño	105

Figura 107	Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1	108
Figura 108	Hidrograma de caudal de diseño	108
Figura 109	Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1	111
Figura 110	Hidrograma de caudal de diseño	111
Figura 111	Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1	114
Figura 112	Hidrograma de caudal de diseño	114
Figura 113	Mapa de profundidades	117
Figura 114	Mapa de descarga específica	118
Figura 115	Mapa de velocidad	119
Figura 116	Mapa de elevación de agua	120
Figura 117	progresiva 1+170 a la progresiva 1+140km	121
Figura 118	progresiva 1+110 a la progresiva 1+020km	122
Figura 119	progresiva 0+990 a la progresiva 0+900km	122
Figura 120	progresiva 0+870 a la progresiva 0+780km	123
Figura 121	progresiva 0+750 a la progresiva 0+660km	123
Figura 122	progresiva 0+630 a la progresiva 0+510km	124
Figura 123	progresiva 0+480 a la progresiva 0+350km	124
Figura 124	progresiva 0+320 a la progresiva 0+240km	125
Figura 125	progresiva 0+210 a la progresiva 0+120km	125
Figura 126	progresiva 0+90 a la progresiva 0+30km	126
Figura 127	progresiva 0+ 1.69	126
Figura 128	Servidor USGS para descarga de DEM	137
Figura 129	Recorte del área de interés	137
Figura 130	Elección del producto	138
Figura 131	Elección de los cuadrantes para descargar	138
Figura 132	Servidor USGS para descarga de DEM	139
Figura 133	DEM para trabajar con ArcMap	139

Figura 134	Perfil longitudinal del tramo de interés del río Cachi	140
Figura 135	Sección transversal del 0+00 al 0+240 km	141
Figura 136	Sección transversal del 0+270 al 0+510 km	141
Figura 137	Sección transversal del 0+540 al 0+780 km	141
Figura 138	Sección transversal del 0+810 al 1+050 km	141
Figura 139	Sección transversal del 1+080 al 1+170 km	142
Figura 140	Código en RSTUDIO para precipitaciones PISCO SENAMHI	143
Figura 141	Código para precipitaciones PISCO SENAMHI	144
Figura 142	Código para precipitaciones PISCO SENAMHI	144
Figura 143	Vista panorámica del Río Cachi	167
Figura 144	Aforamiento del Río Cachi con Correntómetro	167
Figura 145	Aforamiento del Río Cachi	168
Figura 146	Levantamiento topográfico del Río Cachi	168
Figura 147	Aforamiento del Río Cachi	169
Figura 148	Levantamiento topográfico para el alineamiento y seccionamiento del río . . .	170
Figura 149	Levantamiento Topográfico del Río Cachi	171
Figura 150	Levantamiento Topográfico del Río Cachi	171
Figura 151	Levantamiento Topográfico con Dron del Río Cachi	172
Figura 152	Usos y coberturas de Suelos	172
Figura 153	Vista Aérea de los usos y coberturas de suelos	173
Figura 154	Vista Aérea de los usos y coberturas de suelos	173
Figura 155	Vista con dron del río Cachi	174
Figura 156	Uso del Dron	174
Figura 157	Vuelo y manejo de Dron	175
Figura 158	Caudal del río Cachi	175

Índice de tablas

Tabla 1	Valores de factor de rugosidad	12
Tabla 2	Clasificación de los antecedentes de las condiciones del suelo húmedo y la relación con el número de curvas (CN)	21
Tabla 3	Tabla para las bandas de Sentinel	24
Tabla 4	Código de colores y descripción para Sentinel	24
Tabla 5	Tablas para las bandas de MODIS	27
Tabla 6	Resolución espacial y espectral de las bandas del sensor del satélite Landsat8 . .	28
Tabla 7	Parámetros morfométricos y características físicas para la cuenca de Ccayarpachi en Santiago de Pischa	42
Tabla 8	Parámetros físicos de la Subcuenca N°01	52
Tabla 9	Parámetros físicos de la Subcuenca N°02	52
Tabla 10	Parámetros físicos de la Subcuenca N°03	53
Tabla 11	Precipitación máximo diario anual	55
Tabla 12	Precipitación máximo diario anual	57
Tabla 13	Precipitación máximo diario anual	59
Tabla 14	Cuadro de precipitaciones máximas diarias anuales	60
Tabla 15	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	66
Tabla 16	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	67
Tabla 17	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	71
Tabla 18	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	72
Tabla 19	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	76
Tabla 20	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	77
Tabla 21	Valores de número de curvas	79
Tabla 22	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	85
Tabla 23	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	86
Tabla 24	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración	88
Tabla 25	Validación de caudal mediante modelo hidrológico	91

Tabla 26	Validación de caudal utilizando correntómetro	94
Tabla 27	Caudal de diseño para la subcuenca1	105
Tabla 28	Caudal de diseño para la subcuenca1	108
Tabla 29	Caudal de diseño para la subcuenca1	111
Tabla 30	Caudal de diseño para la subcuenca1	114
Tabla 31	Valores para el calado o profundidad	117
Tabla 32	Valores para la descarga específica	118
Tabla 33	Valores para la velocidad (m/s)	119
Tabla 34	Valores para la elevación del agua (m.s.n.m)	120
Tabla 35	Caudal de diseño para la subcuenca1	128
Tabla 36	Puntos topográficos en coordenadas UTM	145

Glosario

Aforo: Determinación del flujo del río Ccayarpachi..

Infiltración: Es el flujo de la precipitación que se desplaza a través del suelo y se acumula como agua subterránea hasta finalmente llegar a los ríos.

Hietograma: Grafica de la relación entre la cantidad de precipitación y la duración en diferentes intervalos de tiempo.

Escorrentía: La precipitación transformada en volumen de agua que llega al punto de drenaje de la cuenca en forma de caudal.

Modelo SCS-CN: Es un método directo para estimar directamente de la escorrentía superficial a partir de las lluvias el Soil Conservation Service (SCS) traducido como servicio de conservación del suelo.

Demanda hídrica: Cantidad de agua requerida para las actividades socioeconómicas.

Oferta hídrico: Cantidad de agua disponible para cubrir la demanda hídrica.

Balance hídrico: La cantidad de agua que entra a la cuenca por precipitación y otras fuentes es equivalente a la cantidad de escorrentía que sale de la cuenca de diferentes formas.

Unidimensionalidad: Cuando las series temporales tienen una sola dimensión en el tiempo, como la temperatura y la precipitación, y no dependen de múltiples variables.

Series de tiempo: Cuando se detallan registros de series de datos a lo largo del tiempo.

Datos observados: Son los datos recolectados en campo, medidos por estaciones encargadas de registrar variables meteorológicas e hidrométricas.

Datos estimados: Son datos calculados mediante métodos estadísticos o con algún modelo matemático o computacional.

Parámetros morfométricos: Son las características físicas de las cuencas, como el área, el perímetro, la altitud, etc..

Producto grillado: Constituido por cuadrículas que manejan información meteorológica con una resolución de 0.05° en latitud y longitud, y que se almacenan en formatos ráster.

Rásteres: Tipo de formato que almacena información geográfica, compuesto por numerosas celdas de distintas resoluciones.

Descenso por gradiente: Es un algoritmo que estima numéricamente los puntos en los que una función alcanza sus valores más bajos, con el objetivo de hacer que la función converja.

Tendencia: Es la adaptación de los datos a la curva que estos configuran, permitiendo proyectar el comportamiento de los datos.

Normalización: Es la operación de transformar series temporales en una escala normalizada con un rango de 0 a 1.

Land Use: Usos de suelos en la cuenca clasificados de manera supervisada y no supervisada.

Land Cover: Cobertura de suelos en la cuenca clasificados de manera supervisada y no supervisada.

Acrónimos

ANA	Autoridad nacional del agua
BVA	Visual Basic for Application
CN	Curve Number
DEM	Digital Elevation Model
HEC HMS	Hidrology Modeling System
HEC RAS	Hydrological Engineering Center River Analysis System
MATLAB	Matrix of Laboratory
MSE	Mean square error
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NMSE	Normalized mean square error
PISCO	Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI Climatological and Hydrological
RNA	Redes Neuronales Artificiales
RNN	Recurrent Neural Network
RTIN	Rigth triangulated irregular networks
SARIMA	Seasonal Auto Regressive Integrative Moving Average
SCS	Soil Conservation Service
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SHP	Shapefile
SIG	system Information Geografic
TS	Time series

Símbolos

P_i	Precipitación
A	Área de la Cuenca
P	Perímetro de la cuenca
H	Altitud de la cuenca
D_d	Densidad de drenaje
R_b	Relación de Bifurcación
R_l	Relación de longitud
S_m	Pendiente media del cauce principal
X_t	Serie no estacionaria con varianza infinita
U_t	Diferencia de operaciones
X, x	Datos originales
Y, y	Datos normalizados
Z, z	Datos estandarizados
ε_t, ξ_t	Componentes estocástico
$T_{\min}$	Temperatura mínima ambiental anual
$T_{\max}$	Temperatura máxima ambiental anual
T_{prom}	Temperatura promedio ambiental anual
ϕ	Parámetro Poblacional
$\hat{\phi}$	Parámetro Estimado
T_c	Tiempo de concentración
β	Coeficientes de regresión lineal
$\hat{\beta}_i$	Coeficientes de regresión lineal estimado
t_i	t de student
SCE	Suma de cuadrados explicativa
SCR	Suma de cuadrados residuales

SCT	Suma de cuadrados totales
L	Longitud total de la corriente
S_m	Pendiente media del cauce principal
I_p	Índice de pendiente

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Encontramos problemas de inundación sobre todo en la agricultura en la cuenca de la comunidad de Ccayarpachi del distrito de Santiago de Pischa donde se localiza el río Cachi y según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) perteneciente a la cuenca de Mantaro donde están incluidos cuencas de Junin, Huamanga, Huancavelica y Pasco en tiempo de máximas avenidas siempre se tiene problemas con la inundación la pérdida de áreas de cultivo a veces la situación es demasiado crítico ocasionando el incremento de los caudales de los ríos, así como el colapso de los sistemas de drenaje, pérdida de áreas de cultivo y deficiente evacuación de aguas pluviales .

La necesidad de evaluar las diferentes inundaciones necesitan contar con estaciones hidrometeorológicas instrumentadas para poder determinar la escorrentía superficial y por ende los caudales que generan estas inundaciones, el problema es que muchas cuencas no cuentan con la información suficiente de información hidrometeorológicas, o si cuentan son deficiente para monitorear, modelar y calcular escorrentias y caudales en cuencas extensas; además podemos mencionar la falta de mapas de usos y coberturas de suelos, mapas de antecedentes de condiciones de humedad del suelo, mapa de grupo hidrológico de suelos como también mapas de tipos de textura de suelos lo que nos impiden analizar con mayor claridad la transitabilidad de la escorrentia y alcanzar la mayor precisión en el estudio hidrológico en cualquier cuenca.

Es evidente la problemática que se torna preocupante en las regiones de nuestro país por los diferentes desbordes que vienen suscitando en los últimos tiempos, frente a ello surge la necesidad de identificar puntos críticos que permitan la construcción de obras de infraestructura hidráulica a fin de disminuir los impactos negativos ocasionados por el aumento del caudal del Río Cachi que hacen vulnerable de manera física, natural y económicamente a la población.

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Espacial

La investigación se llevará a cabo en la cuenca de la comunidad de Ccayarpachi de Santiago de Pischa con los parámetros físicos y morfométricos descritos en la Figura N°01, perteneciente según

la autoridad nacional del agua (ANA) a la cuenca de Mantaro con un área de 34363 km² que incluye las regiones de Junin, Huancavelica, Ayacucho y Cerro de Pasco, el río principal de la cuenca de Ccayarpachi.

Región: Ayacucho

Provincia: Huamanga

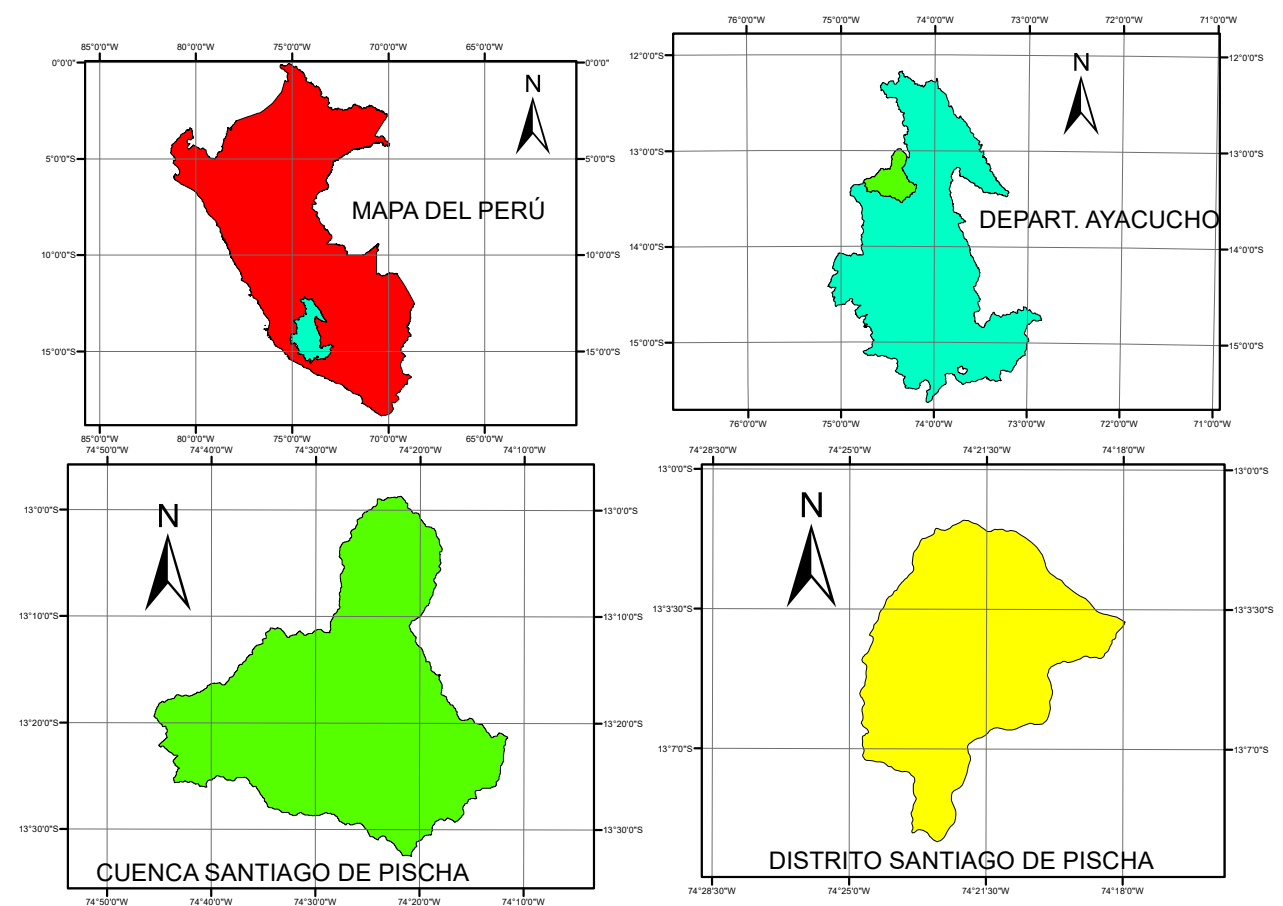
Distrito: Santiago de Pischa

Comunidad: Ccayarpachi

Coordenada UTM : 571805.44 m E 8559056.41 m S

Figura 1

Ubicación, localización de la Cuenca de Ccayarpachi



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Temporal

La investigación se desarrollará durante el año 2023, en la cuenca de Ccayarpachi en Santiago de Pischa, los mapas obtenidos de las imágenes satelitales serán multitemporales y multispectrales priorizando los periodos de las máxima avenidas de los meses de diciembre a marzo y en el resto del año los periodos de estiajes o bajos caudales

1.2.3 Temática y unidad de análisis

1.2.4 Temática

La temática viene hacer la obtención de la escorrentía superficial directa en la cuenca de Ccayarpachi utilizando sensing remote y el método del Soil conservation Service (SCS) junto a la obtención del número de curvas para la cuenca de Ccayarpachi y sobre todo en cuencas que no cuentan con mucha instrumentación y registros de estaciones hidrometeorológicas.

1.2.5 Unidad de análisis

La escorrentía superficial de la cuenca de Ccayarpachi en el río Cachi en el punto de aforo en la coordenada UTM (576361.40)m E y (8555592.03)m S perteneciente a la subcuenca de Mantaro según la autoridad nacional del agua (ANA). La evaluación se realizará en el tramo del punto de aforo para determinar la inundación y la escorrentía directa en dicho tramo.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo se puede estimar la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN para predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023?

1.3.2 Problemas específicos

- ① ¿Cómo se describe factor climático que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023?
- ② ¿Cómo se describe factor hidrológico que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023?
- ③ ¿Cómo se describe factor hidráulico que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023?

1.4 Justificación e importancia

Se justifica la investigación porque se obtendrá la escorrentía directa utilizando sensing remote para la elaboración de las mapas de usos y coberturas de suelo y el método de Soil conservation Service (SCS) es importante ya que nos da una alternativa de solución para el cálculo de escorrentías y caudales de diseño para realizar los estudios hidrológicos, para las inundaciones y otros sobre todo en cuencas que no se cuenta con mucha instrumentación de registros.

Es importante porque nos ayuda a obtener los caudales de diseño para realizar los estudios hidrológicos, también para la toma de decisiones de muchos proyectos de infraestructuras, agricultura, medio ambiente, monitoreo, etc y en las evaluaciones de vulnerabilidad, peligro y riesgo de los desastres naturales ocasionados por las lluvias intensas.

1.5 Limitaciones o restricciones

- Una limitación es la obtención de Digital Elevation Modeling (DEM) o modelamiento digital de elevación con resoluciones de hasta 2m, ya que solo las plataformas de Google Earth Engine, USGS Y otros navegadores nos permiten la obtención de resoluciones espaciales menos precisos como es el archivo DEM de 30m.
- No contar con mucha información hidrometeorológica para toda la cuenca ya que la cuenca delimitada tiene un área de 1797.77 km² y esta clasificada como cuenca grande por lo tanto mínimamente se necesita muchas estaciones solo para la cuenca.
- Otra limitación es que no cuenta con estación hidrométrica para diferentes épocas del año.
- Nuestro país no cuenta con mapas de información para usos y coberturas de suelos y otros para realizar los estudios hidrológicos.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Estimar la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN para predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.

1.6.2 Objetivos específicos

- ① Determinar el factor climático que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.
- ② Determinar el factor hidrológico que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.
- ③ Determinar el factor hidráulico que predice la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.

“El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría.”

— Isaac Asimov

2 Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Investigaciones internacionales.

Según [Mariño y Ochoa \(2016\)](#) Las escorrentías superficiales en las inundaciones constituyen uno de los mayores riesgos naturales para el desarrollo sostenible, y debido a su riqueza hídrica, Colombia es un país altamente susceptible a desastres, con inundaciones siendo uno de los eventos más frecuentes. En Boyacá, hay muchas áreas propensas a inundaciones, como el municipio de Paz del Río y Corrales, debido al desbordamiento del río Chicamocha. Por lo tanto, es necesario desarrollar un modelo de inundación en tiempo real, adaptado a la dinámica hídrica y cambios en el caudal, para predecir el riesgo asociado con la amenaza hidrológica. Este modelo servirá como base para la planificación urbana en estos municipios, proporcionando un marco organizado y técnico para la distribución de futuros asentamientos urbanos y asegurando condiciones de vida seguras para las generaciones futuras.

Según [Patel et al. \(2019\)](#) Las inundaciones son el desastre más común y extendido en un país tropical como India. Las lluvias intensas, la densa población, la industrialización, los asentamientos ilegales a lo largo de las riberas de los ríos, la erosión de las orillas, la marea alta y la urbanización son las principales causas de inundaciones en llanuras aluviales urbanas costeras como la ciudad de Surat. El cambio climático tendrá un papel clave en la intensificación y aceleración del ciclo hidrológico, lo que puede aumentar la magnitud y frecuencia de futuras inundaciones. Las inundaciones no se pueden prevenir por completo, pero los peligros asociados podrían minimizarse si se conocen de antemano las áreas propensas a inundaciones. Por lo tanto, para reducir la pérdida de vida y propiedad en las llanuras aluviales es necesario predecir los niveles de agua de los ríos en zonas urbanas ubicaciones, incluida la extensión de la inundación para el desarrollo de mapas de riesgo para seguros evaluaciones y planes de gestión eficaces para la reducción del riesgo de inundaciones en el futuro .

2.1.2 Investigaciones nacionales

Según Orellana Cabello (2021) son uno de los fenómenos naturales más devastadores que la humanidad ha tenido que enfrentar. Históricamente, las ciudades se establecieron cerca de los márgenes de los ríos para asegurarse un suministro de agua para consumo y para sus actividades agrícolas y ganaderas. Sin embargo, esta proximidad también las expone a riesgos de desbordamientos e inundaciones frecuentes. Piura, una región del norte, sufre continuamente los efectos del Fenómeno El Niño (FEN), que suele manifestarse con lluvias intensas y desbordamientos de ríos, causando serias inundaciones que afectan gravemente a la población. El río Piura, que durante la mayor parte del año tiene caudales bajos, aumenta significativamente su caudal durante este fenómeno, superando el flujo normal y causando inundaciones en las áreas cercanas, como las que ocurrieron en 1925, 1983, 1998 y 2017. Este estudio busca determinar los hidrogramas de diseño y las áreas de inundación en la ciudad para diferentes períodos de retorno, partiendo de la recolección de datos pluviométricos de las estaciones, la compleción de datos faltantes, el análisis estadístico de precipitaciones de 24 horas, el modelado hidrológico de precipitación-escorrentía utilizando el software HEC-HMS para obtener los hidrogramas y los caudales máximos instantáneos, y el modelado hidráulico en el software HEC-RAS para la simulación de inundaciones.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Hidráulica básica del Flujo

Según Chow et al. (1988), La aplicación de los principios fundamentales de conservación de masa, momento y energía en un sistema de flujo se realiza utilizando un volumen de control, que es una referencia tridimensional por donde circula el fluido. Ecuaciones de Saint Venant 1D :

$$U + \frac{\partial}{\partial x} F = H \quad (2.1)$$

Donde :

$$U = \begin{pmatrix} A \\ Q \end{pmatrix}$$

$$F = \begin{pmatrix} Q \\ \frac{Q^2}{A} + gI \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 0 \\ gI_2 + Ga(S_0 - S_f) \end{pmatrix}$$

Si en las ecuaciones unidimensionales para cauces no prismáticos integramos la ecuación de continuidad del movimiento, podemos derivar una forma alternativa de las ecuaciones, conocida como la forma no conservativa, como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) \quad (2.3)$$

Las ecuaciones de Saint Venant constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales parciales con dos variables independientes x y t y dos variables dependientes h y Q . Donde “ t ” es el tiempo y “ x ” es el espacio a lo largo del cauce, A es el área de la sección transversal, Q es el caudal circulante, g es la constante de aceleración de la gravedad, h es la elevación de la superficie de agua respecto a un nivel de referencia, tal que $\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial x} - S_0$ en el cual y es el tirante del flujo y S_0 es la pendiente del fondo de tramo del río y S_f es la pendiente de fricción que puede ser evaluado la ecuación empírica de Manning o Chezy en flujo uniforme permanente (Chow et al. 1988).

$$S = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (2.4)$$

$$K = \frac{A^2 R^{4/3}}{n^2} \quad (2.5)$$

2.2.2 Ecuación de Saint Venant 2D

Las ecuaciones bidimensionales de Saint Venant se derivan de las leyes físicas de conservación de masa y cantidad de movimiento. A partir de estas, se obtienen las ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido newtoniano e isótropo. Al aplicar un promedio sobre pequeños incrementos de tiempo, estas ecuaciones se simplifican en las ecuaciones de Reynolds (Bladé Gómez, 2006). En gran parte de los flujos en lámina libre, y especialmente en el estudio de la propagación de avenidas en ríos, que es el enfoque de esta investigación, las variables tienden a cambiar poco en un mismo vertical. Esta observación permite simplificar las ecuaciones de Reynolds a dos dimensiones mediante un promedio vertical de las ecuaciones tridimensionales. Para llevar a cabo esta simplificación, se consideran las siguientes hipótesis (Chow et al. 1988).

- Profundidad de la capa de agua pequeña con relación a las otras dimensiones del problema.
- Distribución hidrostática de presiones en la vertical.
- Pendiente solera reducida.

Estas tres hipótesis están estrechamente relacionadas. Para que se cumpla la hipótesis de distribución hidrostática de presiones, es necesario que la curvatura de las líneas de corriente sea pequeña. El cumplimiento de estas hipótesis también implica que las componentes de velocidad y aceleración en el eje z sean despreciables en comparación con las componentes en los otros ejes, y que estas últimas presenten una notable uniformidad vertical. Al integrar las ecuaciones de Reynolds en la profundidad, se obtienen las ecuaciones bidimensionales del flujo en canales abiertos, conocidas como las ecuaciones bidimensionales de Saint Venant (Chow et al. 1988):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu_1)}{\partial x_1} + \frac{\partial(hu_2)}{\partial x_2} = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + g \frac{\partial h}{\partial x_1} = -\frac{\partial z_0}{\partial x_1} - \frac{\tau_{0x1} + \tau_{sx1}}{\rho h} + f_{u2} + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_1} (\tau_{x1x1}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_2} (\tau_{x1x2}) \quad (2.7)$$

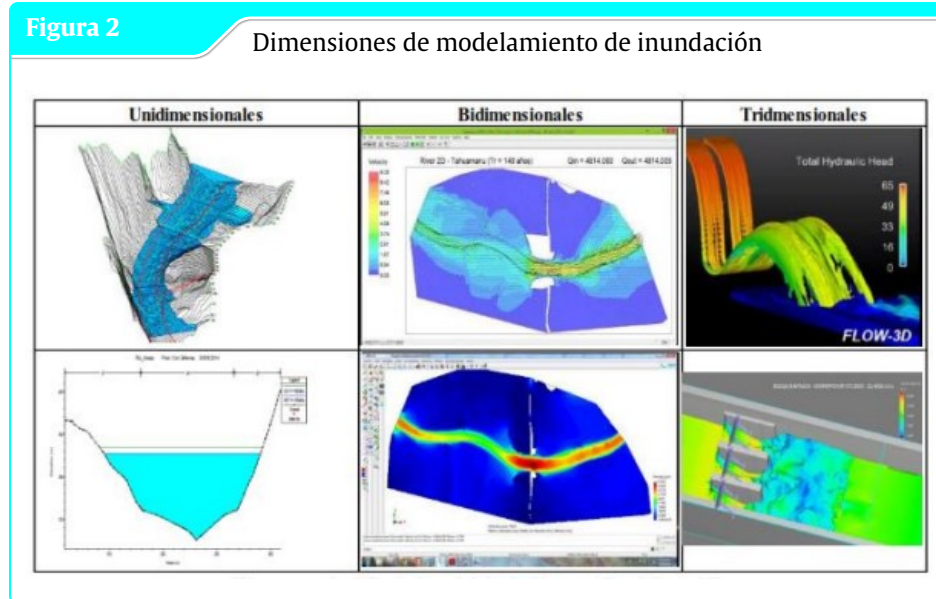
$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + g \frac{\partial h}{\partial x_2} = -\frac{\partial z_0}{\partial x_2} - \frac{\tau_{0x2} + \tau_{sx2}}{\rho h} + f_{u1} + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_1} (\tau_{x1x2}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_2} (\tau_{x2x2}) \quad (2.8)$$

2.2.3 Modelación de Inundaciones

Estos son algunos criterios a considerar antes de llevar a cabo la modelación hidráulica en ríos para el control de inundaciones, y también son aplicables a la resolución de problemas en dinámica de fluidos computacional en general.

2.2.3.1 Selección de Modelo

Definir el nivel de aproximación de la realidad que queremos simular. Modelo en 1D, 2D o 3D dimensiones.



Fuente: Sierra(2018)

2.2.3.2 Discretización del Dominio

Principalmente, se destacan dos elementos esenciales: la subdivisión del espacio, que puede lograrse mediante la creación de una malla (ya sea estructurada o no estructurada), y la selección del método numérico correspondiente (como diferencias finitas, elementos finitos o volúmenes finitos) (Chow et al. 1988).

2.2.3.3 Análisis

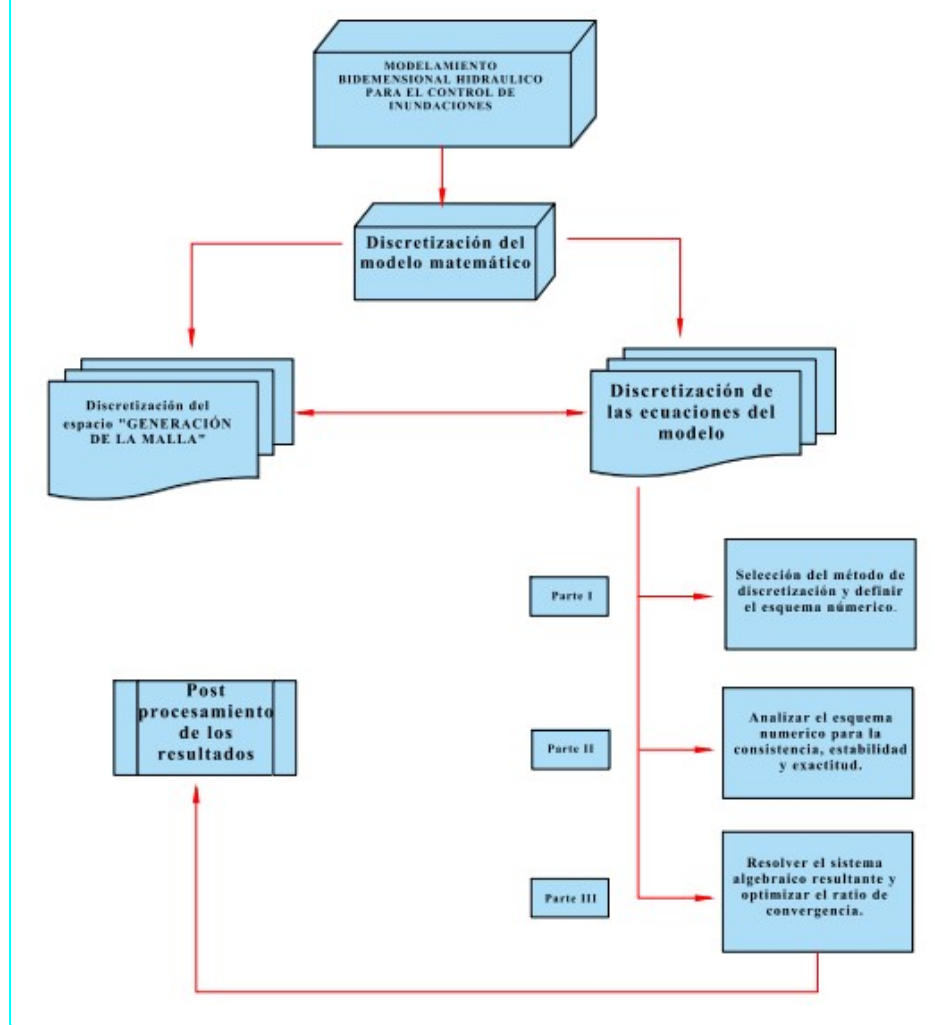
Cuál es el método numérico elegido es válido, estudiando sus propiedades de consistencia estabilidad, convergencia y precisión. Solución resolver el esquema numérico, aplicando conocimientos matemáticos que aceleren la convergencia del sistema (Chow et al. 1988).

2.2.3.4 Post Procesado

Gráfico de los resultados cuantitativos para interpretar y analizar los resultados obtenidos como se observa en la imagen debajo (Chow et al. 1988).

Figura 3

Diagrama de Flujo de Modelación Hidráulica bidimensional en ríos



Fuente: Sierra(2018)

2.2.4 Tipos de flujo

La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio (Chow et al. 1988).

2.2.4.1 Flujo permanente

Se considera que el flujo en un canal abierto es permanente cuando las características hidráulicas del flujo (como el caudal, velocidad media y el tirante) permanecen constantes en una sección del canal a lo largo del tiempo (Chow et al. 1988).

2.2.4.2 Flujo no permanente

Un flujo en un canal abierto es considerado no permanente o no estacionario cuando las características hidráulicas del flujo (como el caudal, la velocidad y el tirante) no permanecen constantes a lo largo del tiempo en una sección del canal. El movimiento del agua en la naturaleza suele presentar variaciones en el caudal con el tiempo, especialmente durante episodios de avenidas, que es el enfoque de esta investigación. Por lo tanto, el tipo de movimiento que se produce es el denominado no permanente o no estacionario, también conocido como gradualmente variado. Para representar con la mayor precisión posible el análisis del flujo en nuestro cauce, se debe adoptar la aproximación del movimiento no permanente (Chow et al. 1988).

2.2.5 Modelación Hidrológica con HEC- HMS

Es un modelo hidrológico creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Este modelo integra técnicas hidráulicas, estadísticas y otras herramientas para la simulación de eventos. Por ejemplo, las pérdidas pueden calcularse utilizando el método del Número de Curvas, la fórmula de Green y Ampt, etc; mientras que la función de tránsito de cursos de agua puede determinarse mediante el método de Muskingum, la onda cinemática, etc (Chow et al. 1988).

2.2.6 Parámetros de Escorrentía y Tiempo de concentración

Es el tiempo necesario para que una gota de agua viaje desde el punto hidráulicamente más alejado hasta la salida de la cuenca. Este tiempo depende de varios factores, como la geometría en planta de la cuenca, su pendiente (dado que una pendiente mayor genera flujos más rápidos y reduce el tiempo de concentración), el área, las características del suelo, la cobertura vegetal, etc. A continuación, se presentan algunas fórmulas para calcular el tiempo de concentración (Chow et al. 1988).

2.2.6.1 Método de Kirpich

$$T_C = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385} \quad (2.9)$$

Donde:

T_C = Tiempo de concentración (Minutos)

L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

2.2.6.2 Método de Hataway

$$T_C = \frac{0.616(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}} \quad (2.10)$$

Donde:

T_C = Tiempo de concentración (Horas)

L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (km)

n = Factor de rugosidad

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Tabla 1: Valores de factor de rugosidad

Tipo de Superficie	Valor de n
Suelo liso impermeable	0.02
Suelo denudo	0.1
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo denudo	1.2
Pastizales	0.4
Bosques frondosas	0.6
Bosque de coníferas o de frondosas cespes, con residuos orgánicos	0.8

Fuente: Tomado de Pilgum y Cordery (1975)

2.2.6.3 Método de US crops of Engineers

$$T_C = \frac{0.3L^{0.76}}{S^{0.19}} \quad (2.11)$$

Donde:

T_C = Tiempo de concentración (Horas)

L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (km)

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

2.2.6.4 Tiempo Pico

Es el intervalo de tiempo que transcurre entre la mitad de la duración de la lluvia efectiva y el momento del pico. Se calcula de la siguiente manera:

$$T_p = 0.6T_C \quad (2.12)$$

Donde:

T_p = Tiempo pico (Horas)

T_C = Tiempo de concentración (Horas)

2.2.7 Modelamiento utilizando HEC-RAS

Según Kumar y La (2017) HEC-RAS fue desarrollado por el Institute for Water Resource, Centro de Ingeniería Hidrológica del Ejército de EE. UU. Cuerpo de Ingenieros. HEC-RAS es una inundación unidimensional herramienta de análisis y se puede utilizar tanto para constantes como inestables simulación de flujo. El modelo destinado al análisis hidráulico de cauces fluviales. El HEC-RAS es uno de los modelos más populares que son capaces de proporcionar la altura de la inundación o la superficie del agua de una dimensión elevación (WSE) del río, arroyo, etc. Resuelve energía ecuación que se basa en la ecuación de Saint Venant también con un procedimiento iterativo llamado método de pasos estándar:

$$Z_2 + Y_2 + \left(\frac{a_2 V_2^2}{2g} \right) = Z_1 + Y_1 + \left(\frac{a_1 V_1^2}{2g} \right) + h_e \quad (2.13)$$

donde:

y_1, y_2 = profundidad de agua en las secciones transversales

z_1, z_2 = cota del canal principal

v_1, v_2 = velocidad media de descarga

2.2.8 2D flujo computacional

Según Rangari et al. (2019), una malla computacional 2D es establecido dentro del área de flujo 2D definida con un espaciamiento de celda de 10 m que generó 1,39,487 celdas computacionales. Aquí, Se adapta una malla de 10 m ya que coincide con la resolución DEM y es adecuado para cálculos. La condición de límite para iniciar las simulaciones se introduce en el área de flujo 2D como tiempo serie de eventos de exceso de lluvia. La figura N°04 muestra el flujo 2D área con malla 2D generada para área de estudio.

2.2.9 Controles estabilidad y fuentes de error del modelo 2D

HEC-RAS 2D proporciona dos enfoques computacionales para calcular el campo de flujo en la malla 2D definida: difusión ecuaciones de onda y momento pleno (Saint-Venant) (HEC-RAS 2016). El solucionador de ondas de difusión promete un modelo superior estabilidad y menos tiempo

computacional. El solucionador de ecuaciones de momento total 2D considera la turbulencia y los efectos de Coriolis en el campo de flujo y por lo tanto, requiere mayor poder de cálculo y tiempo para completar las simulaciones. Además, requiere una malla muy fina para superar los cambios rápidos en dirección del flujo dentro del campo de flujo 2D (Rangari et al. 2019).

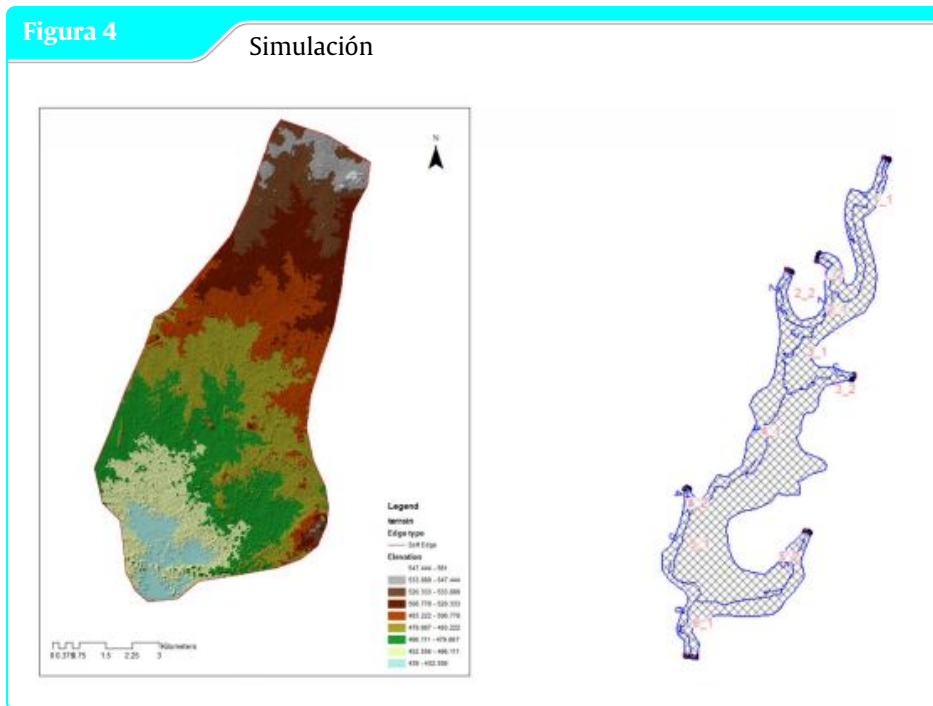
2.2.10 Área de malla 2D y selección del tamaño de celda

El área de flujo 2D se define para generar una malla 2D dibujando un polígono dentro del límite del terreno subyacente. Se desarrolla una malla hexagonal uniforme sobre el subyacente del terreno especificando el espaciado del centro de la celda. El tamaño de la celda de malla junto con el paso de tiempo de simulación del modelo dicta el tiempo de ejecución de la simulación y la precisión en el mapeo de las salidas. La carrera el tiempo aumenta con el número de células. Muchos investigadores recomendar el tamaño de malla limitado a un millón de celdas como exceder este tamaño en una unidad pequeña puede introducir una significativa errores de tiempo de ejecución debido a sobrepasar la asignación de memoria (Goodell y Warren 2006; RAS Solution 2015). Aquí un La malla computacional 2D se establece con espaciado de celdas de 10 m que generó 139,487 celdas computacionales. Se adapta un tamaño de malla de 10 m para capturar todas las características de terreno subyacente desarrollado a partir de DEM de resolución de 10 m (Rangari et al. 2019).

2.2.11 simulación

La simulación hidrológica es una herramienta fundamental en la gestión y planificación de recursos hídricos. Consiste en el uso de modelos matemáticos y computacionales para replicar y predecir el comportamiento del ciclo hidrológico en una cuenca o región específica, esta simulación permite comprender mejor el impacto de diversos factores, como el clima, el uso del suelo, y las intervenciones humanas, en el flujo y la disponibilidad de agua.

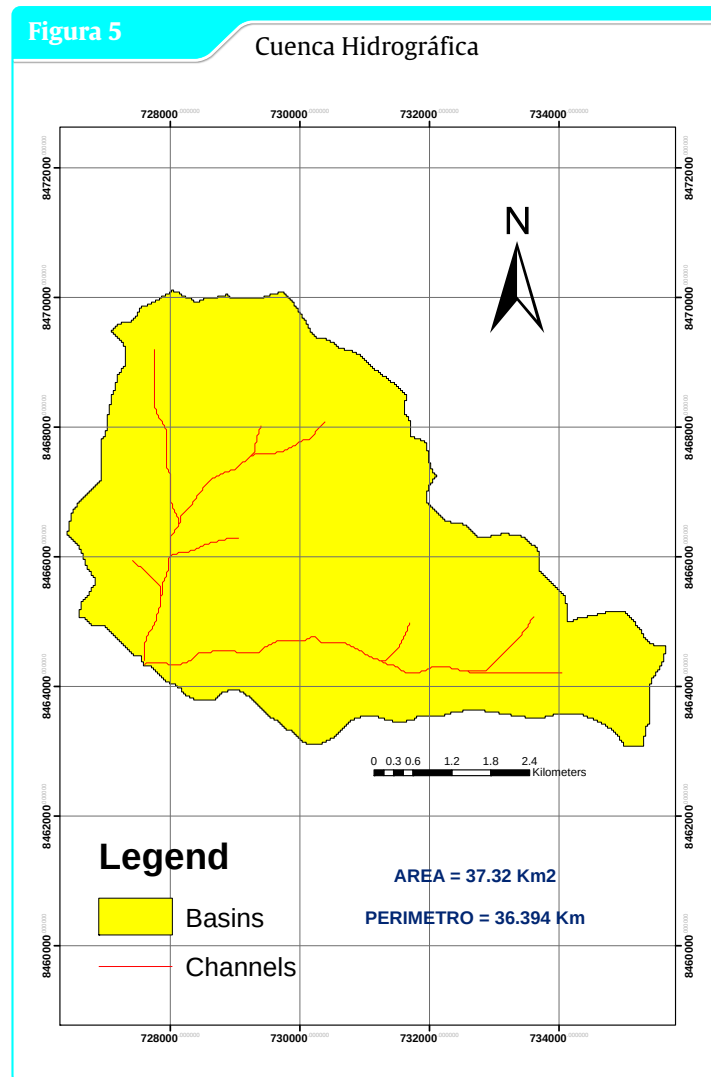
La simulación hidrológica es una herramienta poderosa que permite a los ingenieros y planificadores tomar decisiones basadas en datos y análisis rigurosos, contribuyendo a la gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos.(Rangari et al. 2019).



Fuente: (Rangari et al. 2019).

2.2.12 Cuenca Hidrográfica

Espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.13 Escorrentía superficial directa

Según Chow et al. (1988), es el exceso de precipitación que genera la escorrentía superficial en la salida de la cuenca bajo el supuesto flujo terrestre hortoniano donde el gráfico del exceso de precipitación versus el tiempo es denominado hietograma donde son disponibles para el diseño de tormenta y para el cálculo de los caudales.

2.2.14 Coeficiente de escorrentía

Según Chow et al. (1988), es el coeficiente de escorrentía esta en la relación del pico máximo de la escorrentía directa a la intensidad media de precipitación en una tormenta.

$$C = \frac{r_d}{\sum_{m=1}^M R_m} \quad (2.14)$$

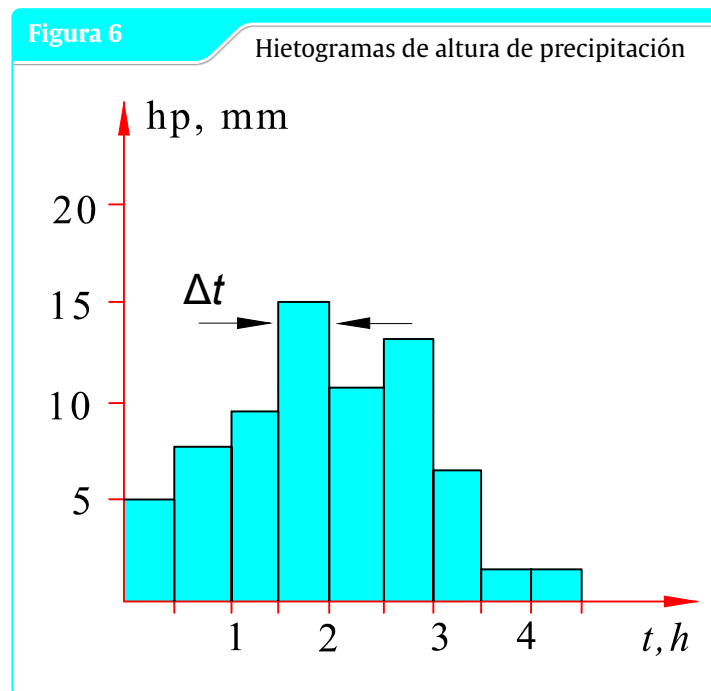
Donde:

R_m es la precipitación total en milímetros(mm)

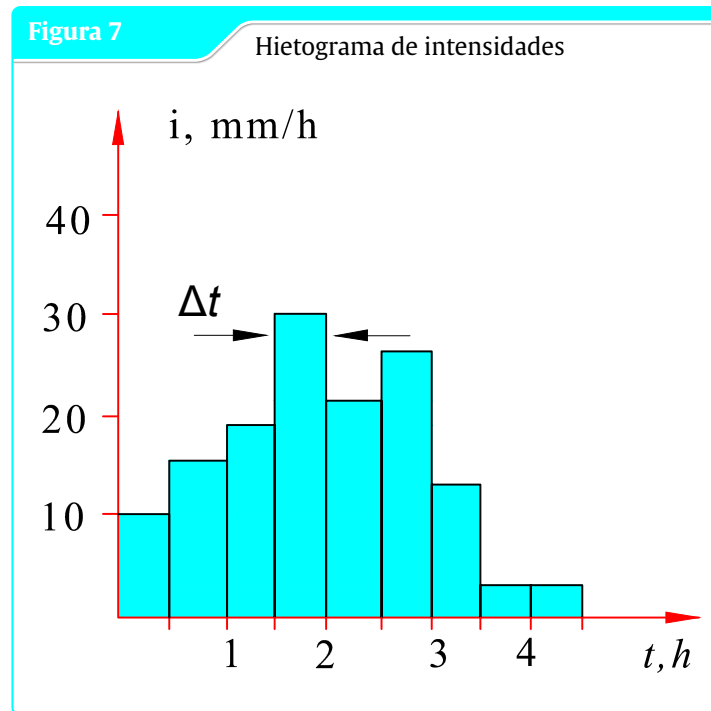
r_d es la profundidad de escorrentía en milímetros(mm)

2.2.15 Hietograma

Según Chow et al. (1988), es un gráfico de barras que muestra la precipitación en función del tiempo en intervalos regulares (hietograma de precipitación, que puede referirse a un día o a una tormenta específica). En la Figura N°06, se presenta un hietograma de intensidades correspondiente a una tormenta registrada por un pluviograma. El intervalo de tiempo varía según el tamaño de la cuenca: para cuencas pequeñas se utilizan intervalos de minutos, mientras que para cuencas grandes los intervalos suelen ser de horas. Los hietogramas son ampliamente utilizados en el diseño de tormentas y en el estudio de caudales máximos, y se derivan de la curva de masa. El área bajo el hietograma indica la precipitación total recibida durante ese período.



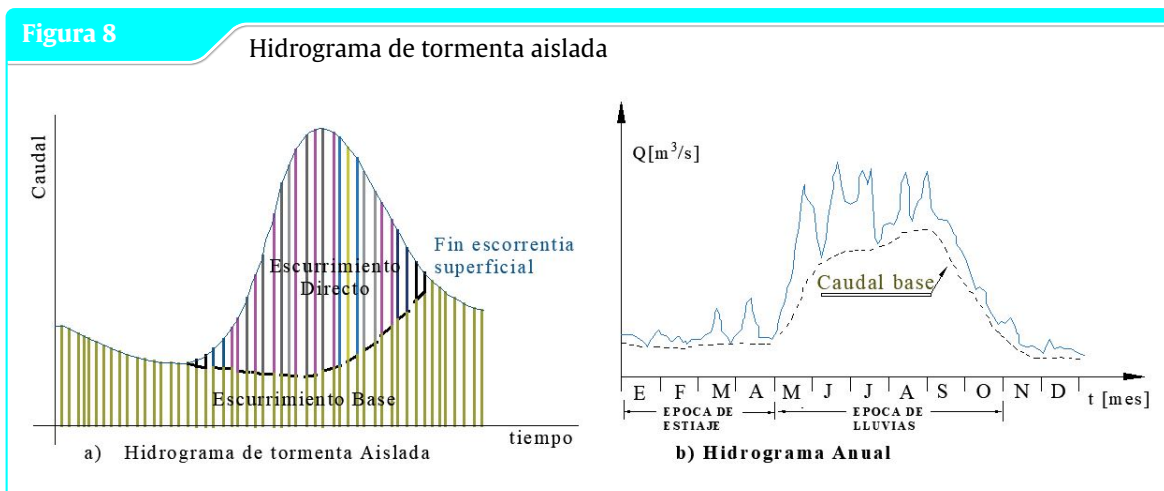
Fuente: Elaborado por (Chow et al. 1988)



Fuente: Elaborado por (Chow et al. 1988)

2.2.16 Hidrograma

Según Chow et al. (1988), es un gráfico que muestra las variaciones del caudal en función del tiempo, en orden cronológico, en un punto específico del cauce. La Figura N°08 ilustra los hidrogramas correspondientes a una tormenta aislada y a una serie de tormentas (hidrograma anual).



Fuente: Elaborado por (Chow et al. 1988)

2.2.17 Inundación

Las inundaciones ocurren cuando las lluvias intensas o prolongadas superan la capacidad de absorción del suelo, el volumen máximo que puede transportar el río se excede, y el cauce principal se desborda, inundando las áreas circundantes. Estas inundaciones dañan bienes e infraestructura, ponen en peligro la vida humana y también provocan serias afectaciones al medio ambiente y al suelo de las áreas adyacentes a los ríos. Además, las inundaciones contribuyen a la erosión y sedimentación de las fuentes de agua (Mariño y Ochoa, 2016).

2.2.17.1 Tipos de inundaciones

Inundaciones dinámicas o rápidas

Según Mariño y Ochoa (2016), ocurren en ríos con cuencas de fuertes pendientes debido a lluvias intensas. Estas crecidas son repentinas y tienen una corta duración. Son las que causan los mayores daños a la población e infraestructura, ya que el tiempo de reacción es casi inexistente.

Inundaciones estáticas o lentas

Según Mariño y Ochoa (2016), generalmente ocurren cuando las lluvias son persistentes y extensas, lo que provoca un aumento gradual del caudal del río hasta que supera su capacidad máxima de transporte. Como resultado, el río se desborda e inunda las áreas planas cercanas, conocidas como llanuras de inundación.

Inundaciones pluviales

Según Mariño y Ochoa (2016), se produce por la acumulación de agua de lluvia en una zona específica o área geográfica, sin que necesariamente implique el desbordamiento de un cauce. Este tipo de inundación ocurre tras lluvias intensas o prolongadas, ya sea debido a la acumulación rápida de un gran volumen de lluvia en un corto periodo de tiempo, o por la precipitación moderada y persistente durante un extenso periodo sobre un suelo poco permeable.

Inundaciones fluviales

Según Mariño y Ochoa (2016), estas inundaciones se deben al desbordamiento de ríos y arroyos, causado por un aumento repentino en el volumen de agua que supera la capacidad de transporte del lecho o cauce, resultando en una crecida. Este fenómeno generalmente es una consecuencia de lluvias excesivas.

2.2.18 Precipitación

Según Chow et al. (1988), la precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega a la superficie terrestre. Incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua desciende hacia el suelo.

2.2.19 Temperatura

Según Chow et al. (1988), la temperatura del aire desempeña un papel doble, ya que incrementa la energía cinética de las moléculas y reduce la tensión superficial que intenta mantenerlas unidas..

2.2.20 Modelo SCS

Existen varios modelos hidrológicos para la evaluación de la cantidad de la escorrentía directa formado por las precipitaciones en los ríos de las cuencas, el método SCS - CN es un método directo para estimar directamente de la escorrentía superficial a partir de las lluvias el SOIL CONSERVATION SERVICE(SCS) traducido como servicio de conservación del suelo es un método que calcula directamente la escorrentía superficial desde el punto de aforo del río de la cuenca (Chow et al. 1988).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.15)$$

Donde:

Q: Profundidad de la escorrentía (obtenido de la multiplicación del volumen de agua por el área de la cuenca.

P: Precipitación en (mm).

I_a : Abstracción Inicial en (mm).

S:Almacenamiento de la Cuenca.

La precipitación antes de la escorrentía inicialmente puede conceptualizarse como abstracción inicial y este valor es asumido generalmente $I_a = 0.2 * S$.

Ecuación usualmente escrito como (Ling et.al , 2020):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.8S} \quad (2.16)$$

Para la cuenca de Ccayarpachi, el número de curvas (CN) está relacionado con el Almacenamiento de la cuenca (S) utilizando la siguiente fórmula:

En unidades de pulgadas:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.17)$$

En unidades de milímetros:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.18)$$

Donde el número de Curvas (CN) son parámetros adimensionales con valores entre 0 y 100 donde cero representa que no existe escorrentía y el almacenamiento de la cuenca es infinito y 100 significa que toda la precipitación esta transitando como escorrentía y el almacenamiento de la cuenca es cero. Estos número de curvas están determinados por el Hidrologic soil Group (HSG) traducido como grupo de suelo hidrológico, usos de suelos y coberturas de suelos (LULC) y los antecedentes de condiciones de suelos húmedos (AMC), donde los antecedentes de las condiciones de suelos húmedos son indicadores antes que inicie la precipitación indicadores de la humedad de la cuenca y el almacenamiento disponible del suelo, el método del número de curva (CN) tiene 3 niveles de (AMC) que son usados para determinar las condiciones el (ACM1) para condiciones secas, el (ACM2) para condiciones normal y el (ACM3) para condiciones húmedas, los límites de las lluvias estacionales para los tres casos de (AMC) están dados en la tabla N°02 las condiciones del caso 1 y caso 3 están en función del caso 2 como se observan en las siguientes fórmulas (Chow et al. 1988).

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (2.19)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (2.20)$$

Tabla 2: Clasificación de los antecedentes de las condiciones del suelo húmedo y la relación con el número de curvas (CN)

AMC	Número de Curva (CN)	Precipitación antecedentes de 5 días (mm)	
		Temporada de crecimiento	Temporada de retardo
I	CN(I)	<35.6	<12.7
II	CN(II)	35.6 - 53.3	12.7 - 27.9
III	CN(III)	>53.3	>27.9

Fuente: Elaboración de Husain godarhi

Para el cálculo del número de Curvas (CN) en cuencas grandes se subdividen en subcuencas con uso y cobertura de suelos diferentes componiendo el número de curvas para cada subcuenca (CN_i); determinando el número de curva para la cuenca total como el peso de cada Número de curva (CN_i) de cada subcuenca multiplicado por el area de cada subcuenca y dividido entre el área total de la cuenca, como se observa en la siguiente fórmula:

$$CN = \sum_{i=1}^n \frac{CN_i * A_i}{A} \quad (2.21)$$

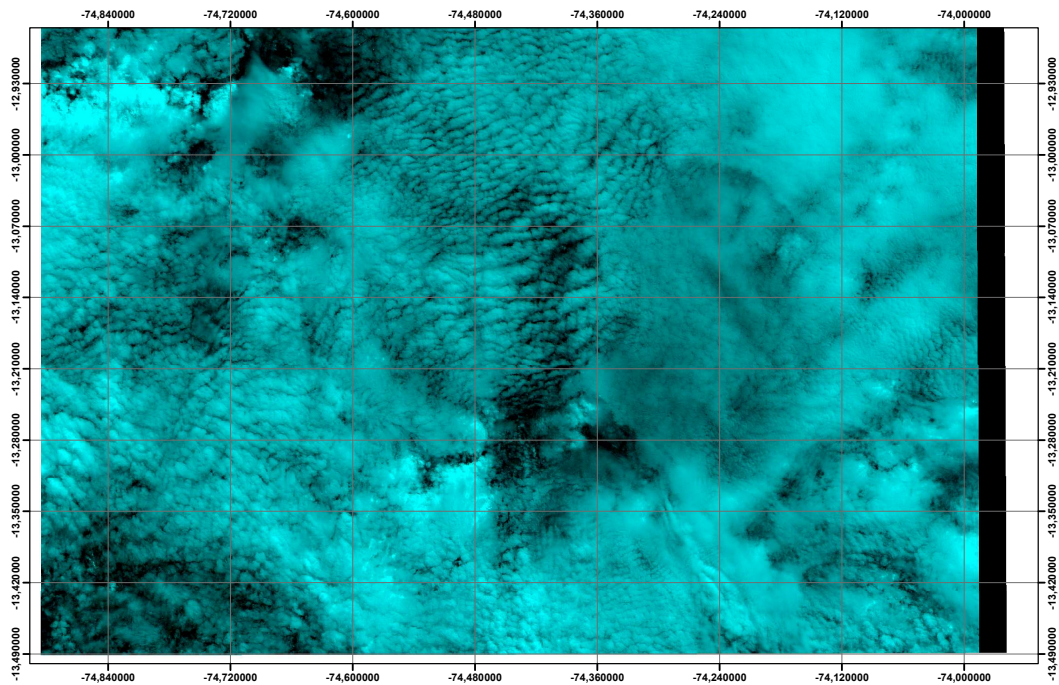
2.2.21 Dataset Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A

Sentinel-2 Es una misión que utiliza imágenes multiespectrales de alta resolución y amplio alcance para apoyar los estudios de Vigilancia Terrestre de Copernicus. Esto incluye la supervisión de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua, así como la observación de vías navegables interiores y áreas costeras.

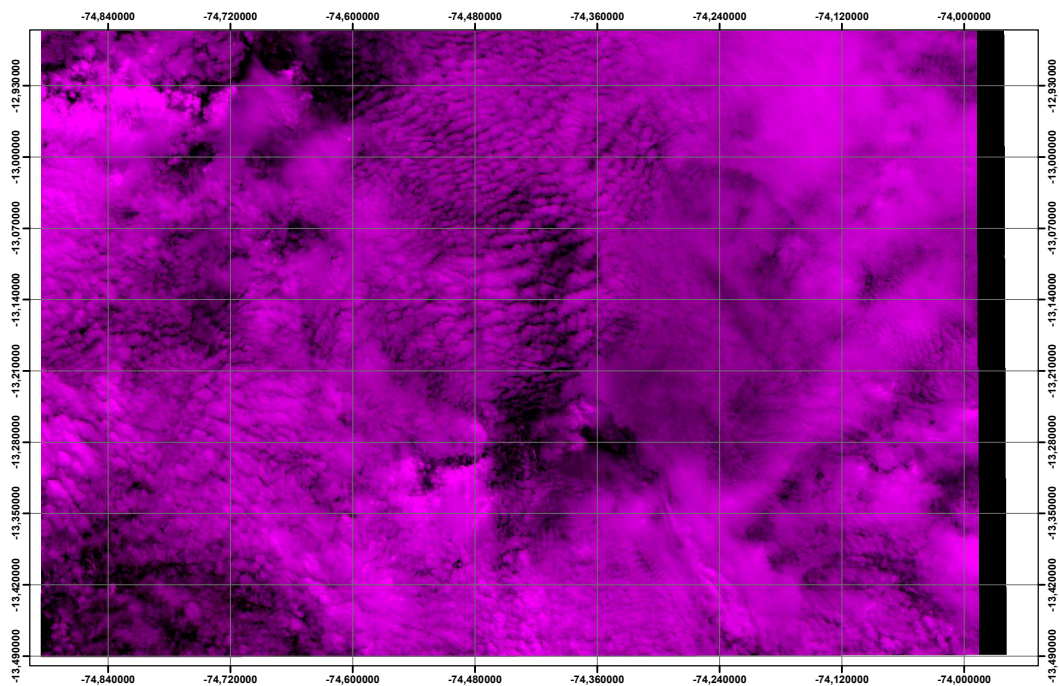
Los activos incluyen 12 bandas espectrales UINT16 que representan el SR escalado por 10000 (a diferencia de los datos L1, no incluyen la banda B10). También hay varias bandas adicionales específicas de L2 (consulte la lista de bandas para más detalles). Además, hay tres bandas QA, siendo una de ellas (QA60) una banda de máscara de bits con información sobre la presencia de nubes. Los identificadores de activos EE para los datos de Sentinel-2 L2 tienen el formato COPENICUS/S2-SR/20151128T002653-20151128T102149-T56MNN; donde la primera parte numérica indica la fecha y hora de la detección, la segunda parte numérica muestra la fecha y hora de la generación del producto, y la cadena final de 6 caracteres es un identificador único de gránulos que indica su referencia en la cuadrícula UTM. Las nubes pueden ser eliminadas utilizando COPENICUS/S2-CLOUD-PROBABILITY (Figueredo y Milena, 2015).

Figura 9

Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A.



(a) TIFF de Sentinel-2 de color verde



(b) TIFF de Sentinel-2 de color rojo

Fuente: USGS Earth Explorer

Tabla 3: Tabla para las bandas de Sentinel

Nombre	Escala	Tamaño de pixels	Longitud de onda	Descripción
B1	0.0001	60 metros	443.9nm (S2A) / 442.3nm (S2B)	Aerosol
B2	0.0001	10metros	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)	azul
B3	0.0001	10metros	560nm (S2A) / 559nm (S2B)	verde
B4	0.0001	10metros	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)	Rojo
B5	0.0001	20metros	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)	Rojo Borde1
B6	0.0001	20metros	740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)	Rojo Borde2
B7	0.0001	20metros	782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)	Rojo Borde3
B8	0.0001	10metros	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)	NIR
B8A	0.0001	20metros	864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)	Rojo Borde4
B9	0.0001	60metros	945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)	Vapor de agua
B11	0.0001	20metros	1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)	SWIR1
B12	0.0001	20metros	2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)	SWIR2

Fuente: Elaboración Propia tomado de Google earth Engine

Tabla 4: Código de colores y descripción para Sentinel

Tabla de clases SCL		
Value	Color	Descripción
1	ff0004	Saturado o defectuoso
2	868686	Píxeles del área oscura
3	774b0a	Sombras de nubes
4	10d22c	Vegetación
5	ffff52	Suelos desnudos
6	0000ff	Agua
7	818181	Nubes Baja Probabilidad / Sin clasificar
8	c0c0c0	Nubes Probabilidad Media
9	f1f1f1	Nubes Alta Probabilidad
10	bac5eb	Cirrus
11	52fff9	Nieve / Hielo

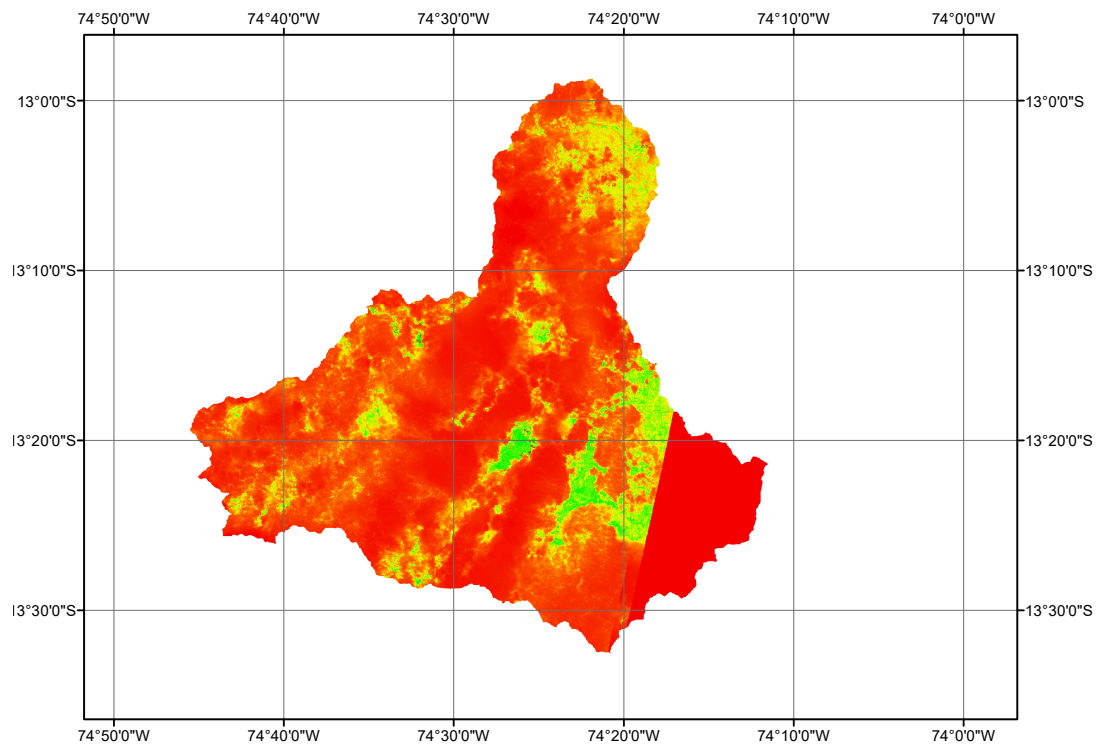
Fuente: Elaboración Propia tomado de la NASA y USGS

2.2.22 MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature Daily Global 1km

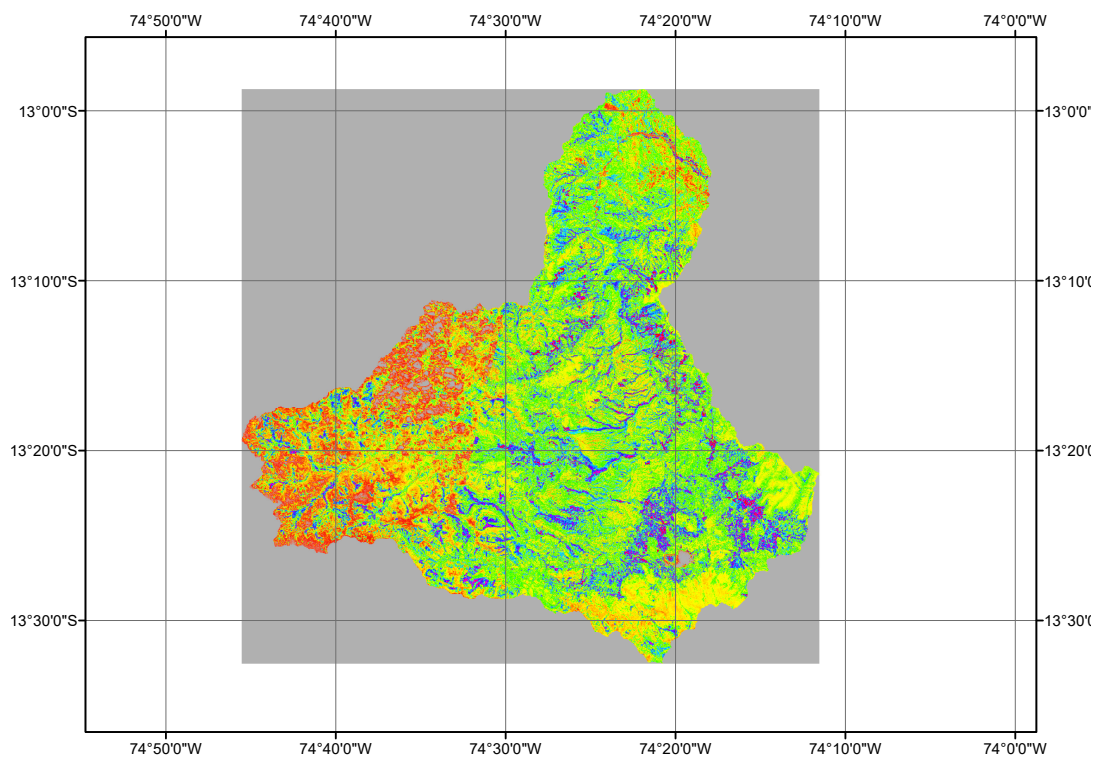
El producto MOD11A1 V6 ofrece valores diarios de temperatura de la superficie terrestre (LST) y emisividad en una cuadrícula de 1200 x 1200 kilómetros. La temperatura se deriva del producto MOD11-L2 swath. Por encima de los 30 grados de latitud, algunos píxeles pueden tener múltiples observaciones que cumplen con los criterios de cielo despejado. En estos casos, el valor del píxel es el promedio de todas las observaciones que cumplen con los criterios. Además de las bandas de temperatura superficial diurna y nocturna, y sus capas indicadoras de calidad, se incluyen las bandas 31 y 32 de MODIS, así como seis capas de observación ([Chow et al. 1988](#)).

Figura 10

MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km



(a) MODIS archivo TIFF para la obtención de índices para la temperatura superficial de la tierra



(b) Modis para la obtención de las áreas de la temperatura superficial

Fuente: USGS Earth Explorer

Tabla 5: Tablas para las bandas de MODIS

Nombre	Unidad	Min	Máx	Scala	Offset	Descripción
LST Day 1km	Kelvin	7500	65535	0.02		Temperatura diurna de la superficie terrestre
QC Day						Indicadores de calidad LST diurnos
Mascara de Bits para QC Dia						
Hora de vista del día	Horas	0	240	0.1		Observación de la hora local del día
Ángulo de visión diurna	grados	0	130		-65	Ver ángulo cenital de observación del día
LST Noche 1km	kelvin	7500	65535	0.02		Temperatura nocturna de la superficie terrestre
QC noche						Indicadores de calidad de la TSM nocturna
Mascara de Bits para QC Noche						
Hora de la vista nocturna	Horas	0	240	0.1		Hora local de la observación nocturna
Ángulo de vista nocturna	grados	0	130		-65	Ver ángulo cenital de la observación nocturna
Emis 31		1	250	0.002	0.49	Emisividad de la banda 31
Emis 32		1	250	0.002	0.49	Emisividad de la banda 32
Cov día claro		1	65535	0.005		Cobertura de cielo claro diurno
Cov despejado noche		1	65535	0.005		Cobertura de cielo claro nocturno

Fuente: Elaboración Propia realizado con Google earth Engine

2.2.23 USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1

Este conjunto de datos incluye la reflectancia de la superficie corregida atmosféricamente y la temperatura de la superficie terrestre, derivadas de los datos producidos por los sensores Landsat 8 OLI/TIRS. Las imágenes abarcan 5 bandas visibles e infrarrojas cercanas (VNIR) y 2 bandas infrarrojas de onda corta (SWIR), procesadas a reflectancia superficial ortorectificada, además de una banda infrarroja térmica (TIR) procesada a temperatura superficial ortorectificada. También se incluyen bandas intermedias utilizadas en el cálculo de los productos ST, así como bandas QA.

Los productos Landsat 8 SR se generan utilizando el Código de Reflectancia de la Superficie Terrestre (LaSRC). Todos los productos ST de la Colección 2 se elaboran mediante un algoritmo de un solo canal desarrollado en colaboración entre el Instituto Tecnológico de Rochester (RIT) y el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA ([Chow et al. 1988](#)).

Las franjas de datos recolectados se agrupan en escenas superpuestas que abarcan aproximadamente 170 km x 183 km, utilizando una cuadrícula de referencia estandarizada.

En algunos activos, solo están disponibles datos SR, por lo que las bandas ST están presentes pero vacías. Para los activos que incluyen tanto bandas ST y SR, el nivel de procesamiento se establece en "L2SP". En cambio, para los activos que solo contienen bandas SR, el nivel de procesamiento se fija en "L2SR" ([Chow et al. 1988](#)).

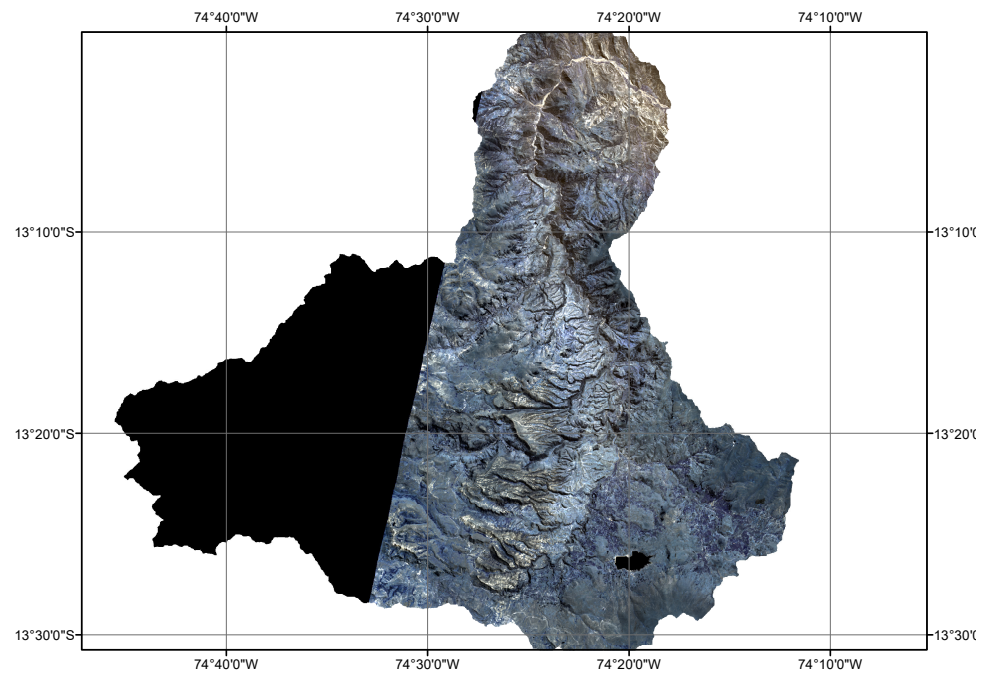
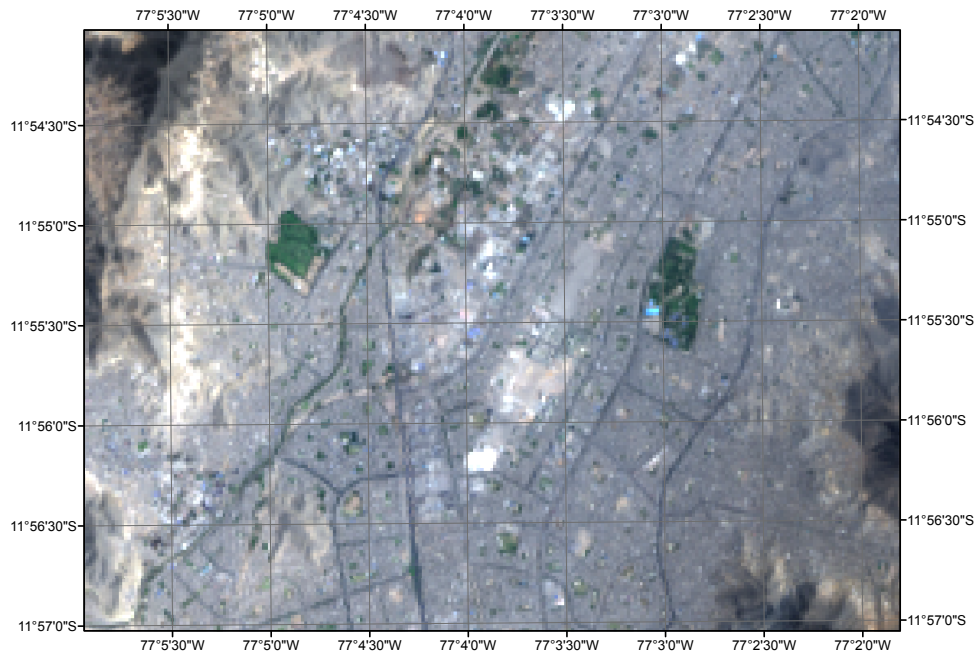
Tabla 6: Resolución espacial y espectral de las bandas del sensor del satélite Landsat8

Bandas	Longitud de onda (Micrometros)	Instrumento sensor	Resol.(m)
Banda1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	OLI	30
Banda2 - Azul(Blue)	0.45 - 0.51	OLI	30
Banda3 - Verde(Green)	0.53 - 0.59	OLI	30
Banda4 - Rojo(Red)	0.64 - 0.67	OLI	30
Banda5 - Near Infrared(NIR)	0.85 - 0.88	OLI	30
Banda6 - SWIR1	1.57 - 1.65	OLI	30
Banda7 - SWIR2	2.11 - 2.29	OLI	30
Banda8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	OLI	30
Banda9 - Cirrus	1.36 - 1.38	OLI	30
Banda10 - Thermal Infrared	10.60 - 11.19	(TIRS)1	100*(30)
Banda11 - Thermal Infrared	11.50 - 12.51	(TIRS)2	100*(30)

Fuente: Elaboración Propia tomado de la NASA y USGS

Figura 11

Formato de imagen TIFF para LANDSAT8

**(a)** Imagen landsat vista de planta**(b)** Landsat8 obtenido de google earth engine**Fuente:** Elaboración propia realizado con Google earth Engine

2.2.23.1 Índice de cuerpos de agua y contenido de agua en las plantas

El Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) es un índice derivado de la teledetección que evalúa los cambios en el contenido de agua en las hojas utilizando la banda Near Infrared (NIR) y la banda de Short- Wave infrared (SWIR) de longitud de onda; el NDWI se emplea para analizar el contenido de agua en la vegetación debido a su alta sensibilidad al contenido de agua en la vegetación y en los cuerpos de agua (Chow et al. 1988).

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2.22)$$

Donde:

El rango de longitud de onda del Infrarrojo Cercano (NIR) es de 0.841 a 0.876 nm

El rango de longitud de onda del Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) es de 1.628 a 1.652 nm

Para Landsat 4-7 tenemos:

$$NDWI = \frac{Band4 - Band5}{Band4 + Band5} \quad (2.23)$$

Para Landsat 8 tenemos:

$$NDWI = \frac{Band5 - Band6}{Band5 + Band6} \quad (2.24)$$

2.2.23.2 Índices para vegetación

El Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) es un índice en teledetección utilizado para medir las variaciones en el contenido de agua de las hojas mediante las bandas de Infrarrojo Cercano (NIR) y de Infrarrojo de Onda Corta (SWIR). El NDWI se emplea para analizar el contenido de agua en la vegetación debido a su sensibilidad tanto al agua en la vegetación como en los cuerpos de agua (Chow et al. 1988).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2.25)$$

Donde:

Infrarrojo Cercano (NIR) con un rango de longitud de onda de 0.841 a 0.876 nm

Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) con un rango de longitud de onda de 1.628 a 1.652 nm

Para Landsat 4-7 tenemos:

$$NDVI = \frac{\text{Band4} - \text{Band3}}{\text{Band4} + \text{Band3}} \quad (2.26)$$

Para Landsat 8 tenemos:

$$NDVI = \frac{\text{Band5} - \text{Band4}}{\text{Band5} + \text{Band4}} \quad (2.27)$$

2.2.23.3 Índices para textura de suelos

Los parámetros de textura del suelo se obtienen mediante teledetección satelital utilizando la capa superficial del suelo, a través del índice de Tamaño de Grano (GSI), Este índice mide el tamaño de los granos en la superficie del suelo (Chow et al. 1988).

$$GSI = \frac{B_4 - B_2}{B_4 + B_2 + B_3} \quad (2.28)$$

Donde B2, B3 y B4 corresponden a las bandas azul, verde y roja de las imágenes de Landsat 8, los valores de GSI se acercan a cero en áreas de vegetación y son negativos en cuerpos de agua.

El mapa de índice de tamaño de grano, que utiliza las bandas NIR y SWIR de ASTER, también ayuda a diferenciar la capa superficial según la variación del tamaño de grano.

$$\text{Grain Index} = \frac{B_3 - B_6}{B_3 + B_6} \quad (2.29)$$

Donde el B3 y B6 corresponde al NIR y SWIR bandas del ASTER.

Finalmente, el índice Sand Index3 utiliza la banda TIR de los datos ASTER para derivar los índices de arenas, mostrando las variaciones en la textura de la arena.

$$\text{Saint Index3} = \frac{3B_{13}}{B_{10} + B_{11} + B_{12}} \quad (2.30)$$

Donde B10, B11, B12 y B13 es la emisividad de las bandas térmicas del ASTER.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Hidrología

Según Villón (2007), el agua en la Tierra se encuentra en la región conocida como hidrósfera, que se extiende aproximadamente 15 km hacia arriba en la atmósfera y alrededor de 1 km hacia abajo en la litosfera, dentro de la corteza terrestre. El agua circula por la hidrósfera a través de una red de caminos que forman el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es fundamental en la hidrología, funcionando sin un inicio ni un final definidos, con sus numerosos procesos desarrollándose de manera continua. El agua se evapora de los océanos y de la superficie terrestre, ascendiendo a la atmósfera como vapor. Este vapor se transporta y eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita en la tierra o en los océanos. La precipitación puede ser capturada por la vegetación, convertirse en escorrentía superficial, infiltrarse en el suelo, fluir a través de él como flujo subsuperficial, o desembocar en los cuerpos de agua como flujo superficial.

2.3.2 Hidráulica fluvial

Según Chow et al. (1988), la hidráulica fluvial se enfoca en las modificaciones realizadas por el ser humano en los ríos para optimizar el uso de sus recursos o reducir los riesgos de daños. A diferencia de estructuras como carreteras o ferrocarriles, que son construcciones civiles, un río es un elemento natural que recoge las aguas de una cuenca y las transporta hasta su desembocadura, independientemente de las condiciones. La hidráulica fluvial integra conceptos de Hidrología, Hidráulica General, Geomorfología y Transporte de Sedimentos. Examina el comportamiento hidráulico de los ríos en términos de caudales y niveles, tanto medios como extremos, las velocidades de flujo, las alteraciones del lecho debido a la erosión y sedimentación, la capacidad de transporte de sedimentos y la erosión de las márgenes. Los diseños de las infraestructuras construidas en ríos, como sistemas de abastecimiento de agua, gestión de excesos, encauzamiento, y protección de lechos y márgenes, forman parte del ámbito de la Ingeniería de Ríos.

2.3.2.1 Gasto o caudal de un río

A diferencia de las estructuras construidas, los ríos no tienen determinaciones previas fijas. Sus respuestas son objeto de estudio en campos como la hidrología, la geomorfología, la hidráulica marítima y otras áreas relacionadas. El caudal de un río varía constantemente en función del régimen hidrológico de la cuenca, ya sea en una escala estacional o debido a eventos meteorológicos específicos.

2.3.2.2 La rugosidad de un río

La rugosidad de un canal es un parámetro claramente definido y crucial para su capacidad de transporte. En un río, la relación entre el canal y la altura del agua es más compleja, ya que la resistencia al flujo se ve afectada tanto por el tamaño de los granos del material del lecho como por la forma del fondo granular.

2.3.2.3 talud (z)

Los taludes se definen como la relación entre la proyección horizontal y la vertical de la inclinación de las paredes laterales. La inclinación de estas paredes varía según varios factores en cada caso específico, siendo especialmente influenciada por el tipo de terreno en el que se encuentran. Cuanto más inestable sea el material, menor será el ángulo de inclinación de los taludes.

2.3.2.4 Tirante(y)

Una regla empírica general usada en los estados unidos, establece el valor máximo de la profundidad de los canales de tierra según la siguiente ecuación.

2.3.2.5 Borde libre

Es necesario dejar cierto desnivel entre la superficie libre del agua para el tirante normal y la corona de los bordes, como margen de seguridad a fin de absorber los niveles extraordinarios que puedan presentarse por encima del caudal de diseño.

2.3.2.6 Profundidad total

La profundidad total se establece una vez que se ha determinado el tirante de agua y el borde libre, y se suele redondear considerando la variación del valor del borde libre.

2.3.3 Escorrentía superficial

La escorrentía directa, también conocida como escurrimiento superficial directo, se refiere al flujo de agua que circula directamente sobre la superficie del suelo hacia cursos de agua, sin ser absorbida por el suelo o sin pasar por procesos de infiltración. Este tipo de escurrimiento puede ocurrir en respuesta a eventos de precipitación, deshielo, o riego, cuando la cantidad de agua excede la capacidad de infiltración del suelo (Chow et al. 1988).

2.3.4 Causas de la escorrentía superficial

2.3.4.1 Lluvias Intensas

Eventos de lluvia fuerte pueden generar escurrimiento directo, especialmente si el suelo ya está saturado (Villón, 2007).

2.3.4.2 Deshielo

Durante el deshielo de nieve o hielo, el agua resultante puede moverse directamente sobre la superficie (Chow et al. 1988).

2.3.4.3 Riego Excesivo

Aplicación excesiva de agua en actividades de riego (Villón, 2007).

2.3.5 Rutas de Flujo de escorrentía superficial

El agua fluye directamente sobre la superficie del suelo, siguiendo pendientes y terrenos hacia los cuerpos de agua más cercanos. (Chow et al. 1988)

2.3.6 Velocidad de Respuesta de escorrentía superficial

La escorrentía directa tiende a ocurrir rápidamente después de eventos de precipitación intensa, lo que puede aumentar el riesgo de inundaciones (Villón, 2007).

2.3.7 Impactos Ambientales

Puede transportar sedimentos, nutrientes y contaminantes hacia cuerpos de agua, afectando la calidad del agua. Contribuye a la erosión del suelo y la pérdida de la capa fértil (Chow et al. 1988).

2.3.8 Gestión y Mitigación

Estrategias de manejo del agua, como la construcción de infraestructuras de drenaje y la implementación de prácticas de conservación del suelo, pueden ayudar a controlar la escorrentía directa (Chow et al. 1988).

2.3.9 Planificación del Uso del Suelo

La planificación del uso del suelo debe considerar la topografía y la capacidad de infiltración del suelo para minimizar la escorrentía directa y sus impactos asociados (Chow et al. 1988).

2.3.10 Factor Climático

El factor climático se refiere a cualquier elemento o componente del clima que afecta las condiciones atmosféricas en una región o área geográfica específica. El clima es el resultado de la combinación de varios factores climáticos (Chow et al. 1988).

2.3.10.1 Temperatura

La cantidad de calor presente en la atmósfera, medida en grados Celsius o Fahrenheit. La temperatura es un factor clave que influye en muchos aspectos del clima, como la formación de nubes, la evaporación y la densidad del aire (Chow et al. 1988).

2.3.10.2 Precipitación

La cantidad y tipo de agua que cae de la atmósfera hacia la superficie de la Tierra. Incluye la lluvia, la nieve, el granizo y la llovizna. La distribución y la cantidad de precipitación son esenciales para determinar el tipo de clima de una región (Chow et al. 1988).

2.3.10.3 Viento

La velocidad y la dirección del movimiento del aire. El viento puede transportar humedad, afectar la temperatura percibida y desempeñar un papel crucial en la formación de patrones climáticos (Chow et al. 1988).

2.3.10.4 Presión Atmosférica

La fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie terrestre. La variación en la presión atmosférica está asociada con cambios en el clima y la formación de sistemas climáticos como frentes y áreas de baja presión (Chow et al. 1988).

2.3.10.5 Humedad Atmosférica

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera. La humedad atmosférica influye en la formación de nubes, la precipitación y la percepción de la temperatura.

2.3.10.6 Radiación solar

La energía solar emitida por el sol y la cantidad de la distribución de la radiación solar influyen directamente en la temperatura de la Tierra y juegan un papel crucial en la formación del clima (Chow et al. 1988).

2.3.10.7 Altitud y Topografía

La elevación sobre el nivel del mar y la forma del relieve influyen en la temperatura y la precipitación. Las áreas montañosas, por ejemplo, pueden tener climas diferentes a las zonas llanas cercanas (Chow et al. 1988).

2.3.11 Factor Hidrológico

El factor hidrológico se refiere a cualquier elemento o componente relacionado con el ciclo del agua y los recursos hídricos en una determinada área o región. Este factor desempeña un papel fundamental en la dinámica del agua en la Tierra, y abarca varios aspectos interrelacionados. Algunos de los componentes clave del factor hidrológico incluyen:

2.3.11.1 Infiltración

El proceso por el cual el agua penetra en el suelo desde la superficie. La capacidad de infiltración del suelo afecta la cantidad de agua que se absorbe en comparación con la que fluye superficialmente (Chow et al. 1988).

2.3.11.2 Evaporación

La transformación del agua líquida transformada en vapor en la atmósfera, principalmente desde la superficie del suelo y cuerpos de agua.

2.3.11.3 Transpiración

La liberación de vapor de agua desde las plantas y árboles a la atmósfera a través de sus hojas.

2.3.11.4 Nivel del Agua Subterráneo

El nivel en el cual el suelo y las rocas están saturados de agua. Los cambios en los niveles de agua subterránea afectan la disponibilidad de agua para pozos y manantiales (Chow et al. 1988).

2.3.11.5 Caudal de los Cuerpos de Agua

La cantidad de agua que fluye a través de ríos y arroyos en un momento dado. Este factor es crucial para la gestión de recursos hídricos y la evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos (Chow et al. 1988).

2.3.11.6 Almacenamiento de Agua en Embalses y Acuíferos

La retención de agua en embalses artificiales y acuíferos subterráneos, que puede ser utilizada para abastecimiento de agua, riego y generación de energía (Chow et al. 1988).

2.3.12 Factor hidráulico

El factor hidráulico que predice las inundaciones está relacionado con varios parámetros hidráulicos que afectan el comportamiento del agua durante eventos de precipitación intensa o por otras razones. Uno de los factores claves es el estudio de la capacidad de los ríos y canales para mejorar flujos de agua, lo que a menudo se expresa en términos de la capacidad hidráulica del sistema (Chow et al. 1988).

2.3.12.1 Capacidad de caudal o río

La capacidad hidráulica de un canal o río se refiere a la cantidad máxima de agua que puede transportar sin provocar inundaciones. Factores como la geometría del canal, la pendiente y la rugosidad del lecho del río influyen en esta capacidad (Chow et al. 1988).

2.3.12.2 Sección transversal del río

La geometría de la sección transversal del río es esencial, una sección transversal más amplia puede manejar más agua sin causar inundaciones. El diseño de puentes y estructuras en los ríos también es un factor crítico (Chow et al. 1988).

2.3.12.3 Pendiente del río

La pendiente del terreno a lo largo del curso del río afecta la velocidad del agua y su capacidad para evacuar el exceso de flujo. Pendientes pronunciadas pueden aumentar el riesgo de inundaciones (Chow et al. 1988).

“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”

— Aristóteles

3 Método de la investigación

3.1 Enfoque.

La investigación se realizará con un enfoque Cuantitativo porque los estudios hidrológicos necesitan el procesamiento de datos por lo tanto se necesita cuantificar.

3.2 Alcance

La investigación corresponde a un alcance **Descriptivo** para la estimación de la inundación a partir de la escorrentía directa tomando el método de Servicio de Conservación del Suelo (SCS).

3.3 Diseño de investigación

El diseño es No experimental, prospectivo transversal, experimentalmente no se va manipular las variables pero transversalmente se obtendrán los datos en un solo momento de la investigación para poder analizar la inundación del tramo de interés en la cuenca de Ccayarpachi.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población se desarrolla según el ANA en la cuenca de Mantaro con una extensión de 34363.00 km² de superficie de la provincia de Huamanga, región Ayacucho, 2023.

3.4.2 Muestra

Se realiza un muestreo no probabilístico por conveniencia de la subcuenca del río cachi con una extensión de 1797.77 km², donde se estudiará un tramo de 1+170 km aguas arriba del punto de aforo.

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

Si se estima la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN entonces se puede predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.

3.5.2 Hipótesis específicas

- ① Si se determina el factor climático entonces se puede predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.
- ② Si se determina el factor hidrológico entonces se puede predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.
- ③ Si se determina el factor hidráulico entonces se puede predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023.

3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual

3.6.1 Variables e indicadores

Las variables y los indicadores de la inundación se muestran en la siguiente tabla:

Figura 12

Operacionalización de variables

VARIABLES E INDICADORES		
Variable Independiente X: Escorrentía Directa	Indicadores	Unidades
Dimensiones		
X1: Factor Climático	Precipitación	mm
	Temperatura	°C
X2: Factor Hidrológico	Caudal	m ³ /s
	Número de Curva	Adimensional
Variable Dependiente Y: Inundación	Indicadores	Unidades
Dimensiones		
Y1: Factor Hidráulico	Tirante	m
	Espejo de Agua	m
	Velocidad	m/s
	coef. De Manning	Adimensional

Fuente: Elaboración propia

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

- La técnica del procesamiento de datos para la obtención de mapas
- La técnica del manejo de programas de IBER, HEC-HMS Y HEC RAS
- La técnica de la clasificación no supervisada de usos y coberturas de suelos en mapas con sistema de información geográfica.

3.7.2 Instrumentos

- Imágenes satelitales para el procesamiento y la realización de mapas.
- formatos de digital elevation modeling (DEM) para delimitación de cuencas y obtención de parámetros físicos y morfométricos.
- Formatos de Raster para la obtención de información hidrometeorológicos.
- Formatos de Shapefile para la obtención de polígonos y áreas.
- Registro Histórico de Precipitación diarias obtenido del SENAMHI.
- Variables meteorológicas obtenidos del servidor de autoridad nacional del Agua (ANA).
- PISCO SENAMHI información en ráster brick.

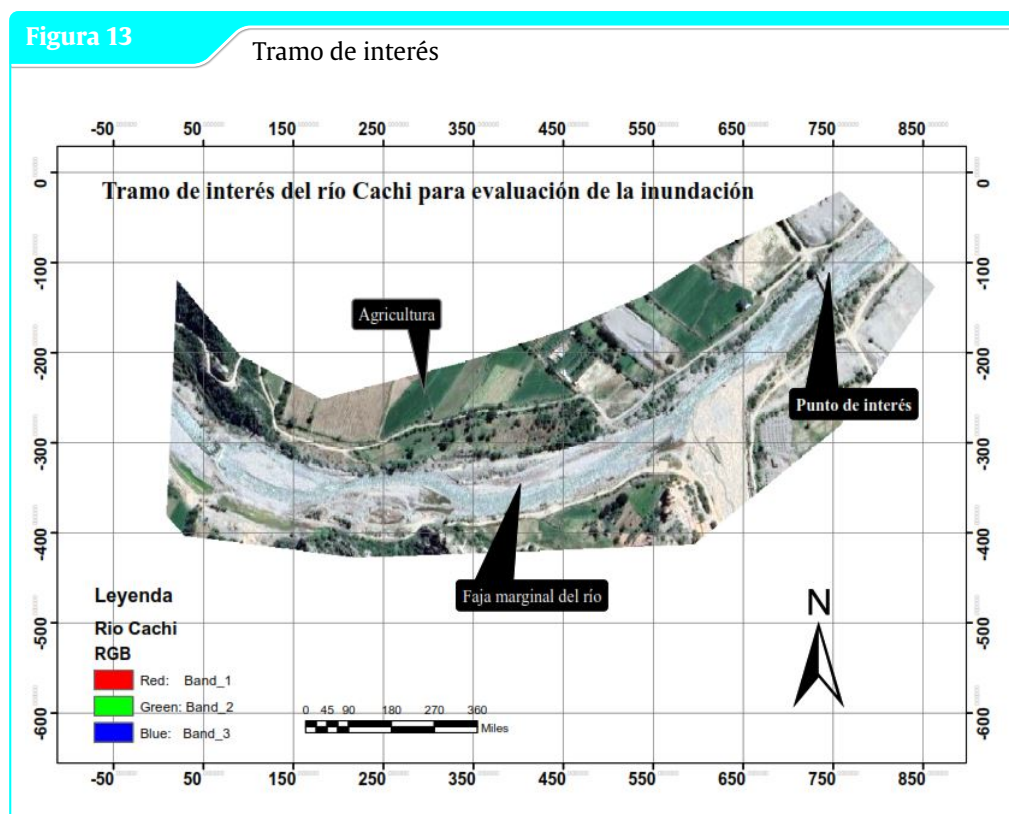
3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

1. Evaluación de los datos relacionados con parámetros morfométricos y variables meteorológicas (como precipitación y temperatura).
2. Revisión de la coherencia y uniformidad de los datos.
3. Aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple con una distribución estadística específica.
4. Validación y calibración estadístico de los resultados de la escorrentía superficial.
5. Exposición y difusión de los resultados.

3.9 Desarrollo del trabajo de tesis

3.9.1 Área de estudio

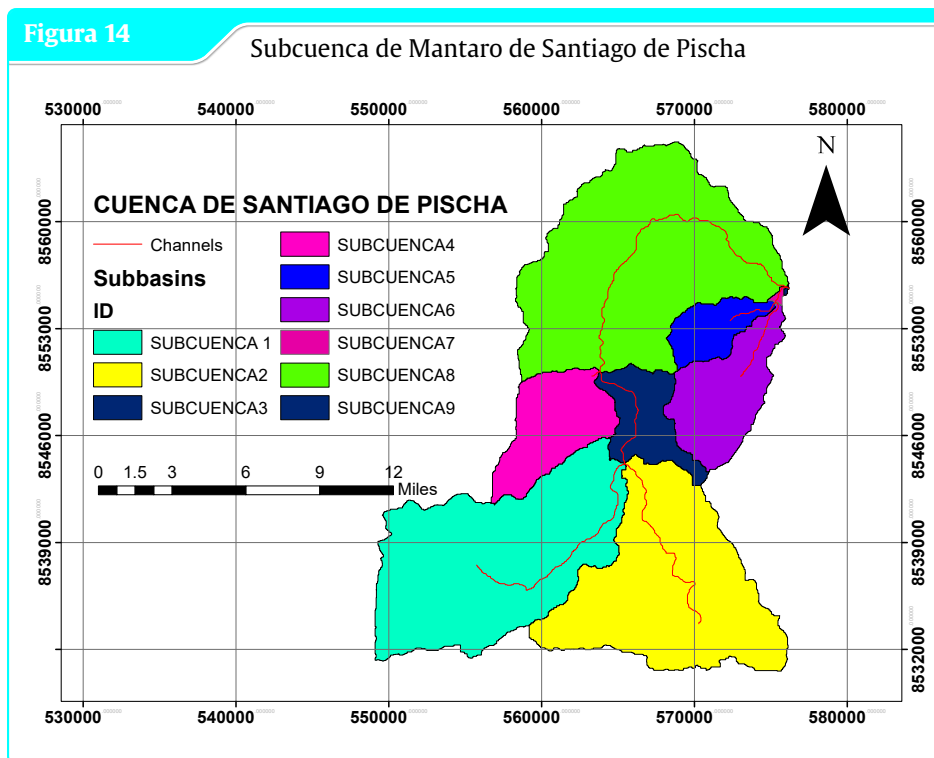
El área de estudio se desarrolla en la cuenca de CCayarpachi con un área de 1797.77 km² la metodología del desarrollo de la investigación consiste en subdividir en tres subcuencas para el análisis.



Fuente: Elaboración propia con SAS PLANET y ArcMap

3.9.1.1 Delimitación y parámetros físicos y morfométricos de la cuenca de Ccayarpachi

Una cuenca se puede subdividir en muchas subcuencas, quedando a criterio del investigador la subdivisión de la cuenca en función al orden de la red hídrica, como en esta investigación se tomó el criterio de dividir en 9 subcuencas para la descripción y delimitación de la cuenca de Ccayarpachi, pero para el desarrollo de la investigación se divide la cuenca en 3 subcuencas, para un mejor análisis en la elaboración del modelamiento del estudio hidrológico, debido a que es mejor modelar una cuenca en subcuencas por ser una cuenca grande.



Fuente: Elaboración propia con ArcMap.

Tabla 7: Parámetros morfométricos y características físicas para la cuenca de Ccayarpachi en Santiago de Pischa

Parámetros Morfométricos y características físicas	
Características Físicas	
Área de la Cuenca(Km)	1797.77
Perímetro de la Cuenca(Km)	264.57
Máxima Elevación(m.s.l.m)	5118.24
Mínima Elevación(m.s.l.m)	2447.19
Elevación Media(m.s.l.m)	3933.32
Parámetros de forma	
Coefficiente de compacidad (Ic)	5.53
Factor de Forma (Ff)	15.79
Relación de Elongación (Re)	0.42
Relación de circularidad (Rci)	0.32
Parámetros de relieve	
Pendiente media(%)	15.22
Tiempo de concentración(Giandotti)(Hr)	8.23
Relación de Pendiente(Horton)	1.69
Longitud media de la colina o ladera(m)	1217.5
Diámetro topológico	122.0
Longitud del vector de dirección (km)	31.24

Parámetros de la Red Hídrica

Densidad de drenaje(Km/Km2)	0.58
Relación de bifurcación (Horton)(Rb)	4.46
Relación de Longitud(Horton) (Rl)	2.42
Relación de Área(Horton) (Ra)	4.84
Frecuencia de flujo de primer orden	0.16
Longitud total de la corriente(Km)	1056.24
Longitud del canal principal(Km)	113.8
Pendiente media del canal principal(%)	2.42
Orden Máxima(Strahler)	5
Cantidad de corrientes	392

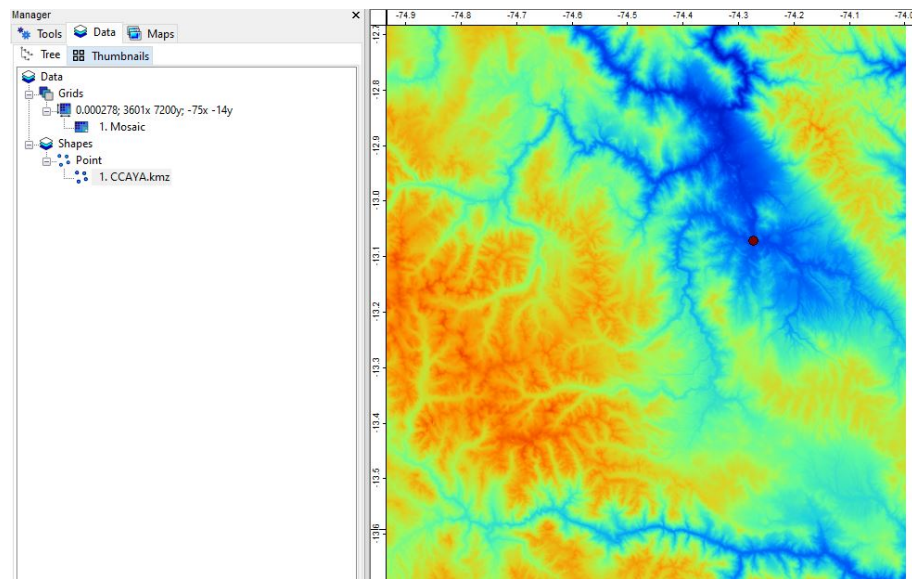
Fuente: Elaboración Propia con GRASS GIS V.8.2 extensión R.BASIN

3.9.1.2 Delimitación de la Cuenca

La obtención de datos se realiza directamente desde la USGS-NASA en formato DEM (Digital Elevation Model) para el procesamiento de datos y del servidor Geogpsperu.com (Aster Global Digital Elevation), donde la resolución espacial para el modelo de elevación digital son aproximadamente en 10 a 15m, el programa utilizado para la delimitación de la cuenca y el procesamiento de los parámetros morfométricos y características físicas es utilizando el Programa ARCGIS y las extensiones de QGIS como son SAGA GIS Y GRASSGIS. Para la delimitación empezamos cargando los DEMs, con la extensión del QGIS ubicando los cuadrantes al cual pertenece la cuenca, para la presente investigación se cargan 4 archivos para unirlos utilizando la herramienta MERGE para convertir en un solo DEM, también cargamos el punto de aforo en formato SHAPEFILE con coordenadas UTM, para finalmente cortar el DEM según el tamaño de la cuenca donde se puede apreciar en la figura N°15

Figura 15

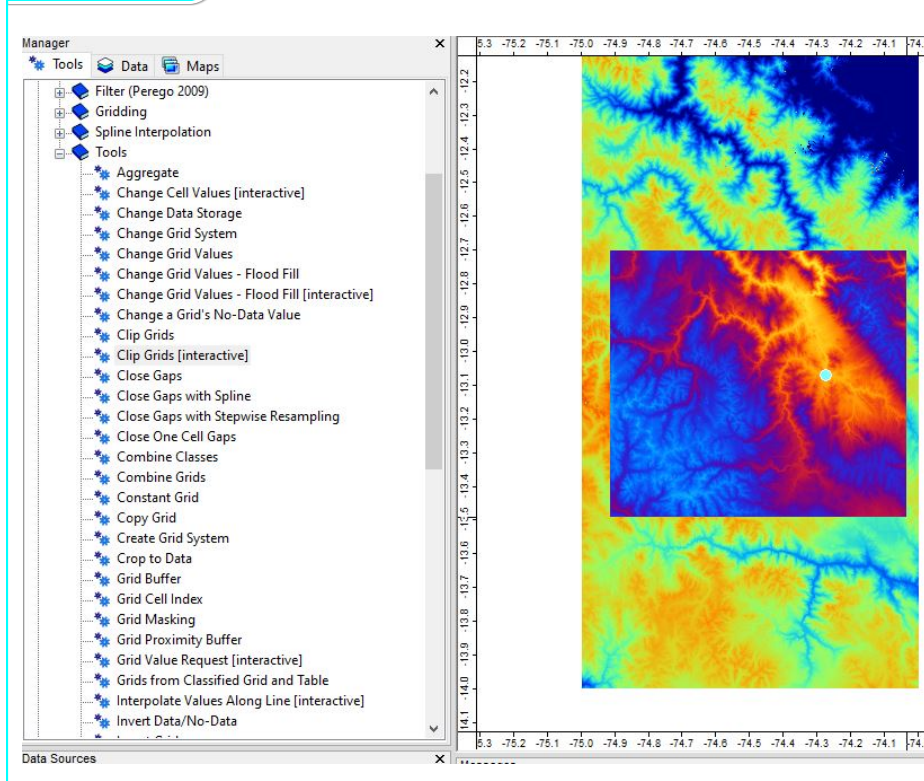
Creación de mosaico de elevación digital de terreno DEM para delimitación



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 16

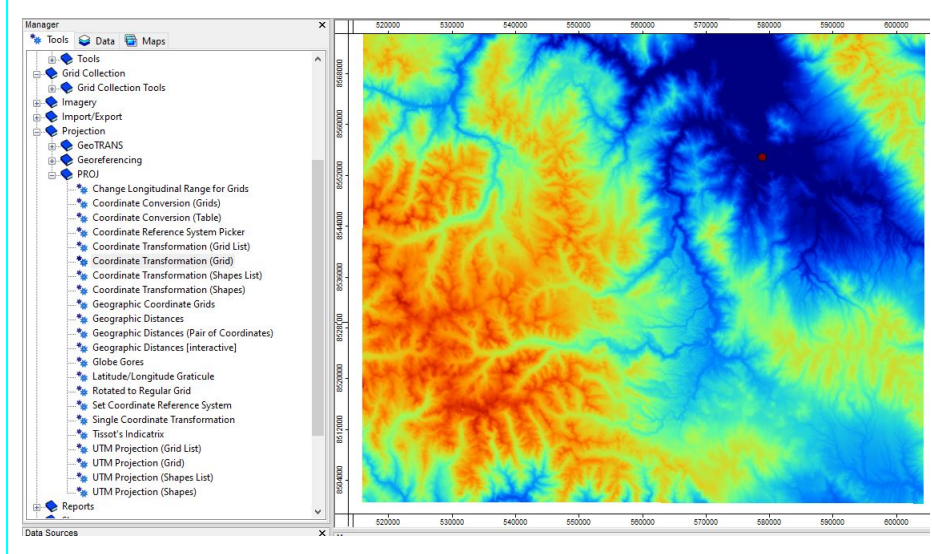
Recorte del área de interés del DEM



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 17

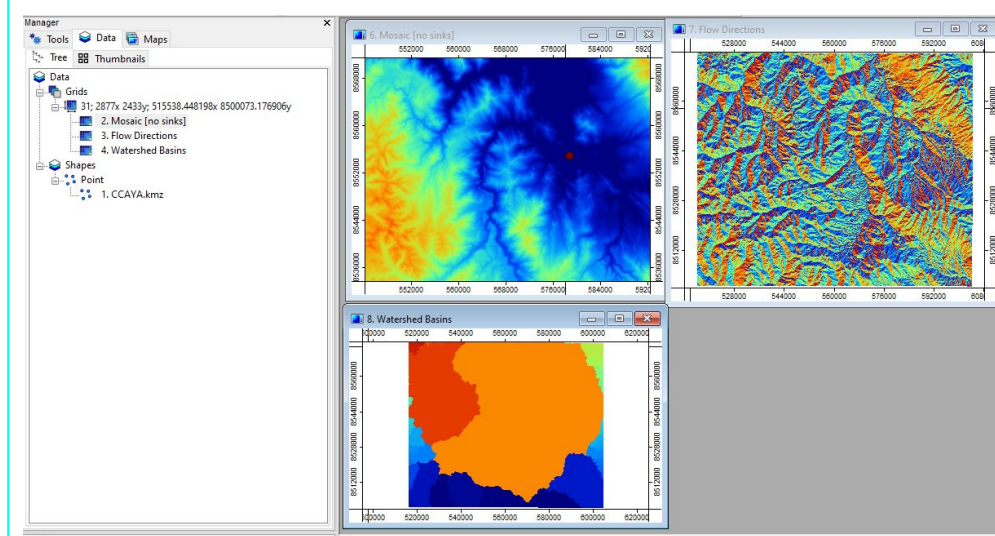
Proyección a la coordenada UTM



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 18

Corrección y relleno de depresiones con DEM FILL

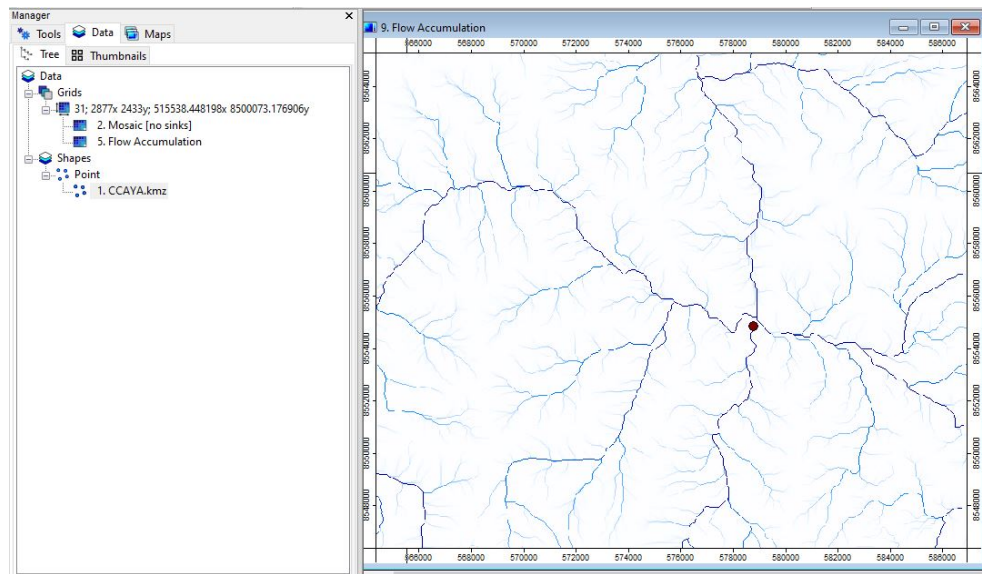


Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Luego de cortar el DEM para optimizar el procesamiento de los datos, aplicamos la herramienta DEM FILL para la corrección del DEM en las depresiones de la cuenca, también se crea el DRAINAGE, para la red hídrica de la cuenca para la delimitación a partir del punto de aforo. En la Figura N°21 podemos apreciar la conversión del formato RASTER al formato SHAPEFILE para la obtención de los parámetros morfométricos para la determinación de las subcuencas y cuencas y el número de orden de la red hídrica principal.

Figura 19

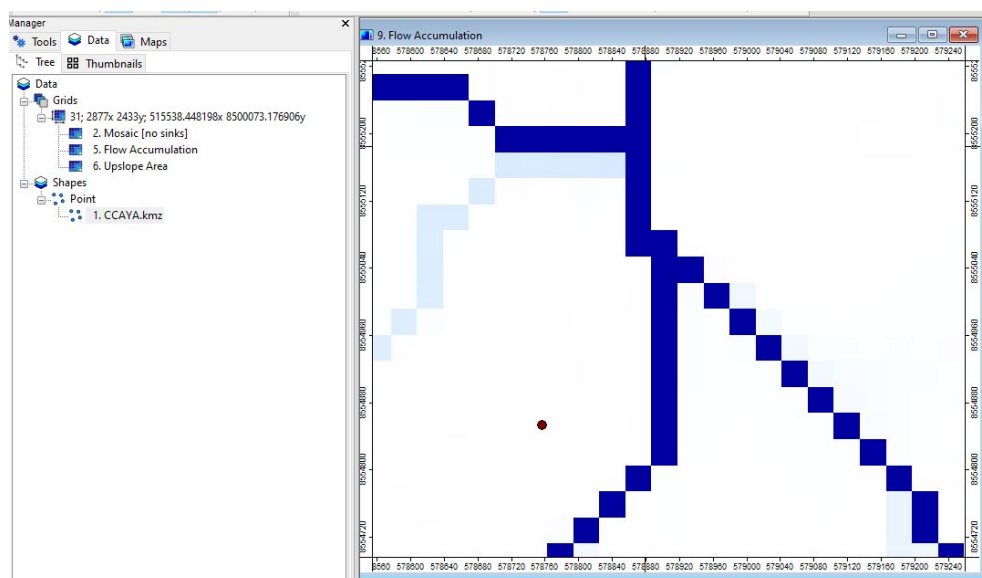
Flujo acumulado de corrientes para delimitación



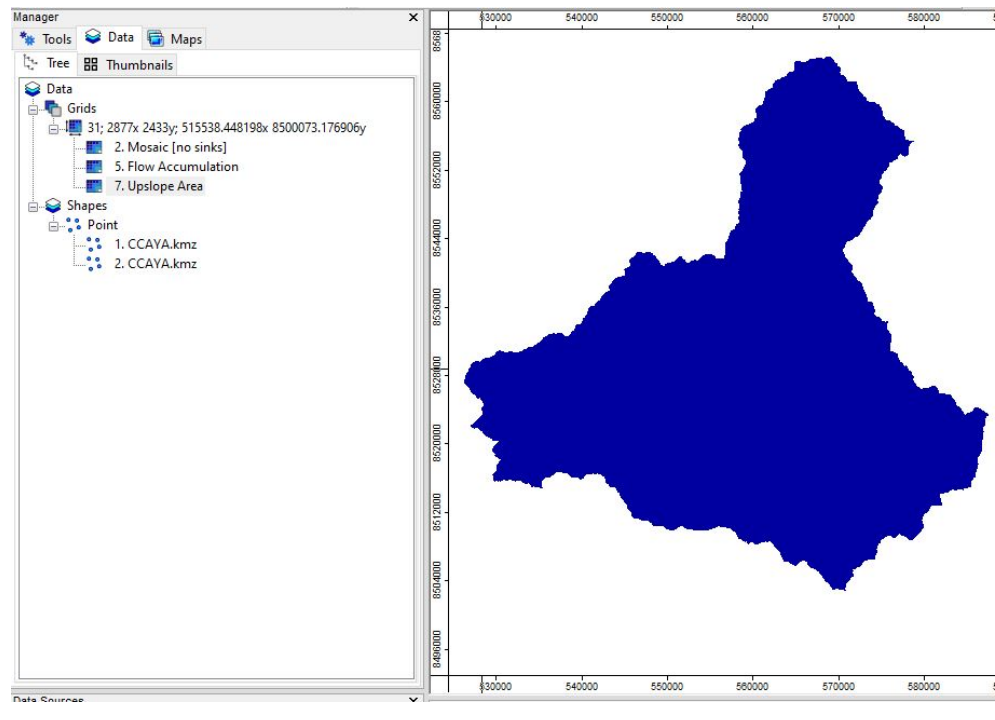
Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 20

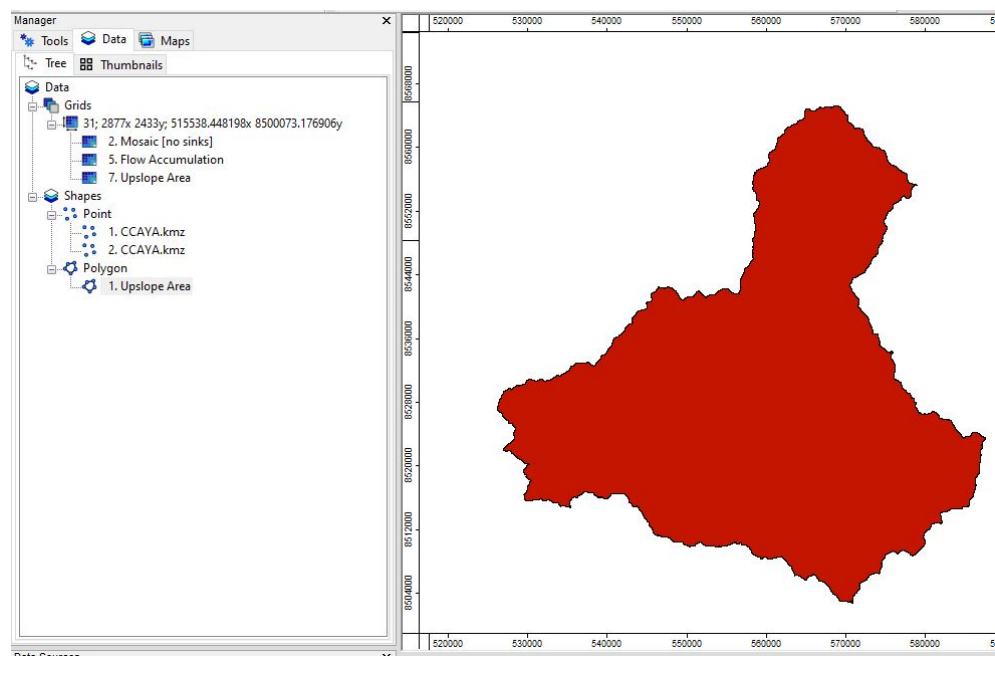
Delimitando del punto de interés



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 21**Delimitación del Upslope basin**

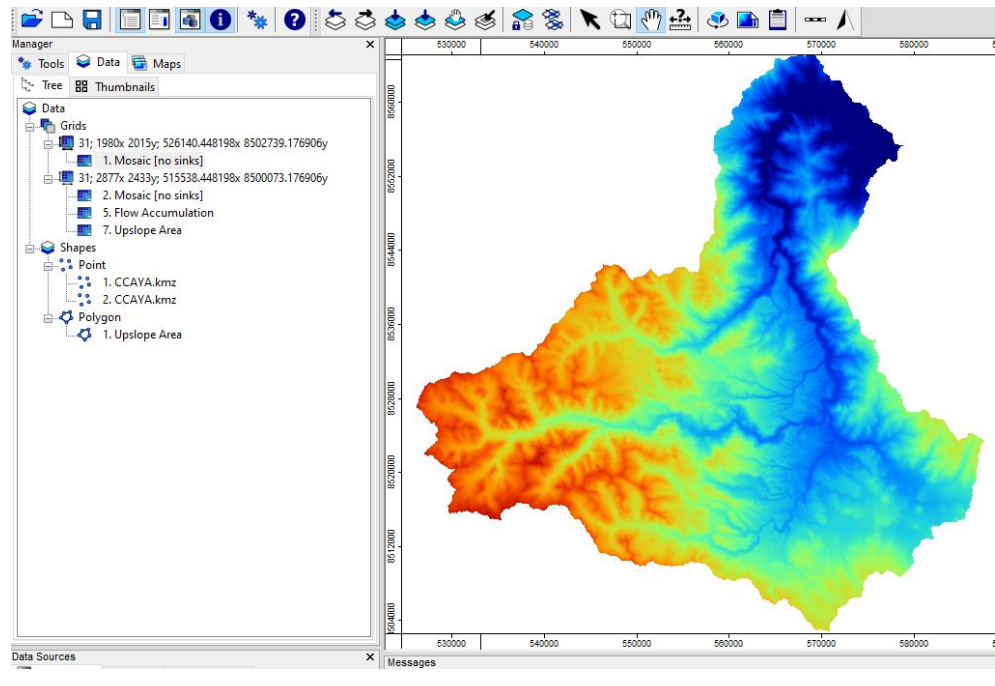
Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 22**Creando máscara de polígono para cortar el DEM FILL**

Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 23

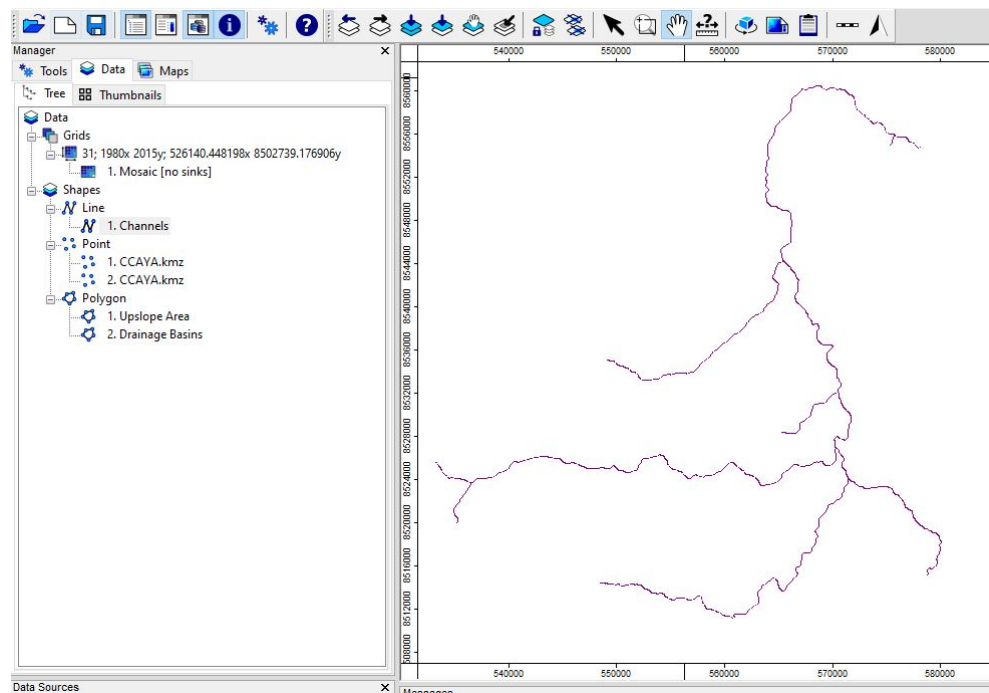
Cortando con la máscara el DEM FILL



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 24

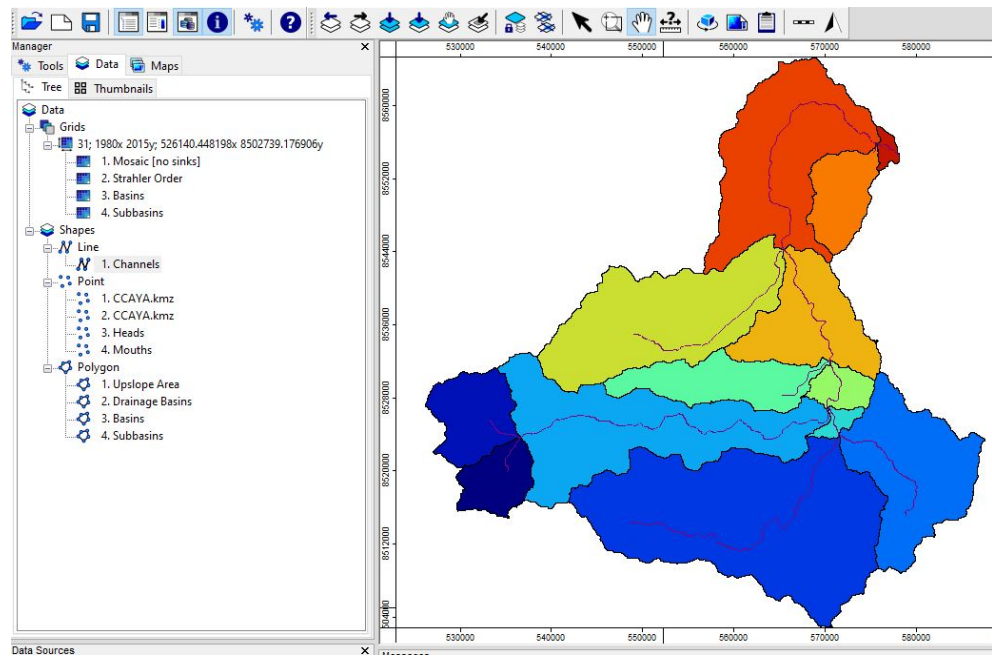
Creación de la red hídrica para las subcuencas



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 25

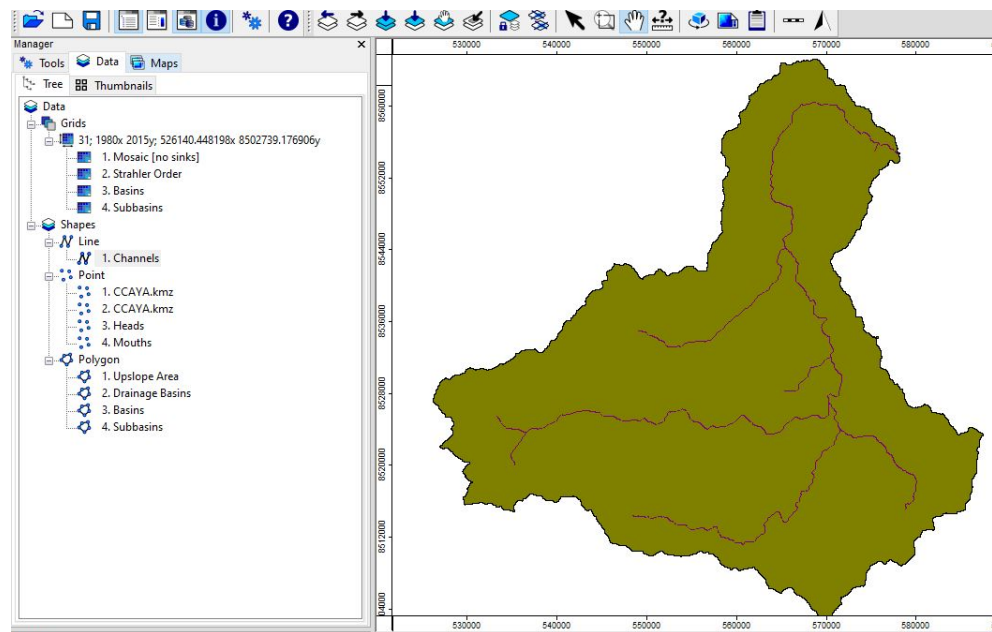
Subcuencas de Ccayarpachi



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

Figura 26

Cuenca de Ccayarpachi



Fuente: Elaboración propia con SAGA GIS.

3.9.2 Método del desarrollo de la investigación

El aporte en la presente investigación principalmente son las precipitaciones obtenidas y extraídas con el programa R-STUDIO del producto PISCO SENAMHI la cual son utilizadas para estudios hidrológicos en cuencas sin registros de estaciones pluviométricas, y el otro valor agregado en la investigación viene hacer la obtención del número de curvas CN utilizando la teledetección satelital, en función a los usos y coberturas de suelos que se detectan como objetos en la cuenca, la precipitación efectiva es generada utilizando el método SCS (soil conservation service), determinando el modelo de lluvia-escorrentía precipitaciones y obtener el caudal con el programa HEC-HMS, donde el modelamiento hidrológico son obtenidos para el caudal de diseño que posteriormente convertido en hidrograma se podrá modelar utilizando los programas IBER AULA V.3.2 y el programa HEC-RAS para determinar los parámetros hidráulicos.

Para un mejor análisis y modelamiento de la cuenca Ccayarpachi del río Cachi es dividida en tres subcuencas, donde cada subcuenca es ingresada a los programas de modelamiento donde son requeridos los ingresos como el tiempo de concentración, la pendiente de la cuenca los tipos de suelos para la determinación de la rugosidad de Manning, el área de la cuenca, el número de curva, los hietogramas, entre otros parámetros morfométricos y físicos para cada subcuenca.

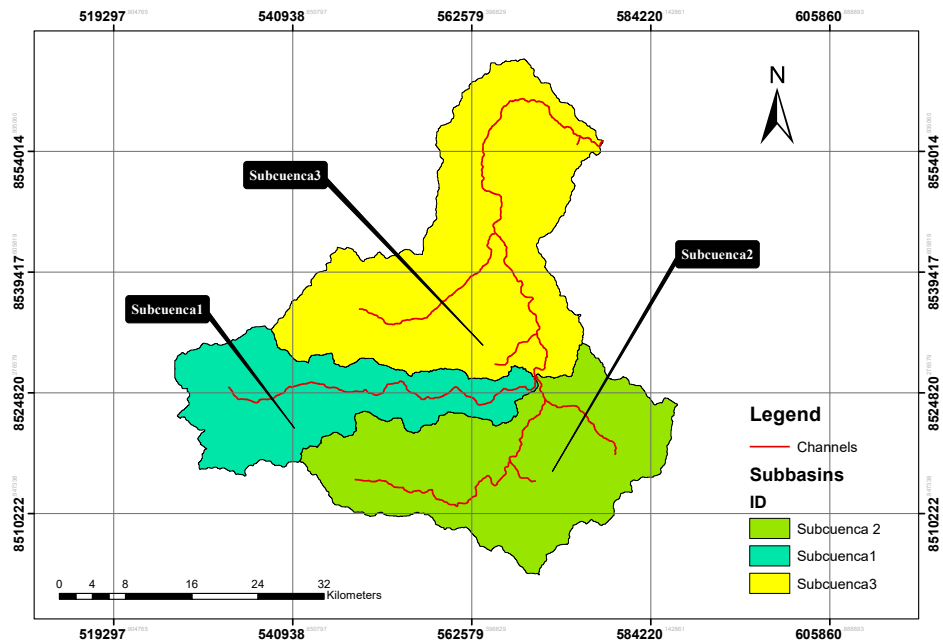
Las precipitaciones Pd obtenidas de PISCO-SENAMHI en formato ráster brick son precipitaciones diarias registradas del 01 de enero de 1981 al 31 de diciembre del 2016 donde son procesadas y ordenas en precipitaciones máximas diarias anuales, las cuales son proyectadas para diferentes tiempo de retorno utilizando funciones de distribución probabilística, estos resultados son calculados con el método de Dick y Peschke obteniendo para cualquier intensidad, duración y tiempos de retorno, se calculan las curvas IDF a través de una regresión lineal o no lineal, a partir de estas curvas IDF se pueden calcular los hietogramas de diseño y luego el cálculo de los hidrogramas las cuales son ingresados para el modelamiento hidráulico y la obtención de los parámetros de tirante crítico, espejo de agua, número de Froude para el tipo de régimen crítico, subcrítico o mixto para la velocidad, etc.

3.9.3 División de la cuenca en subcuencas

Para el análisis del estudio hidrológico para el modelamiento se divide la cuenca en 3 subcuencas, para realizar el modelamiento hidrológico el cálculo del caudal de salida para cada subcuenca y finalmente para la cuenca completa en función a los tiempos de concentración y características morfométricas.

Figura 27

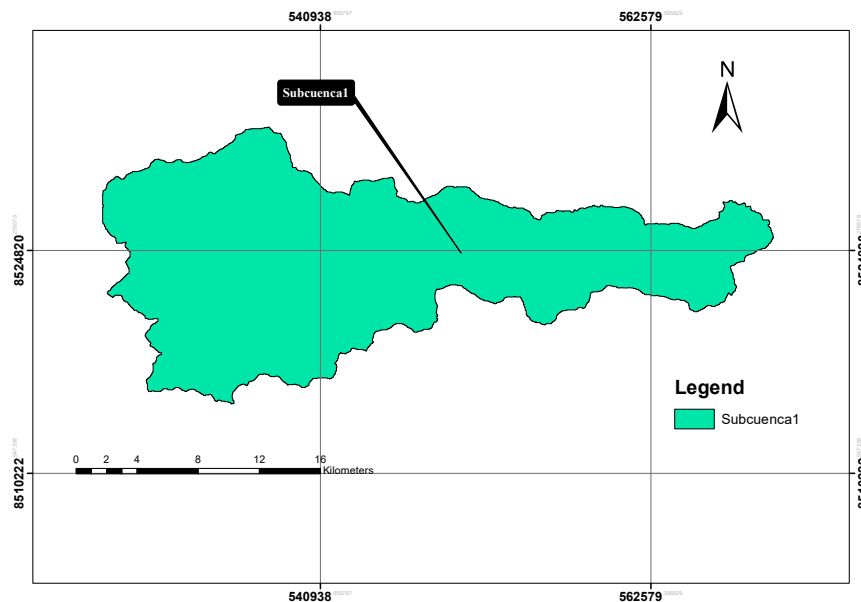
Cuenca de Ccayarpachi



Fuente: Elaboración propia con ARCGIS y SAGA GIS

Figura 28

Subcuenca N°01 de Ccayarpachi

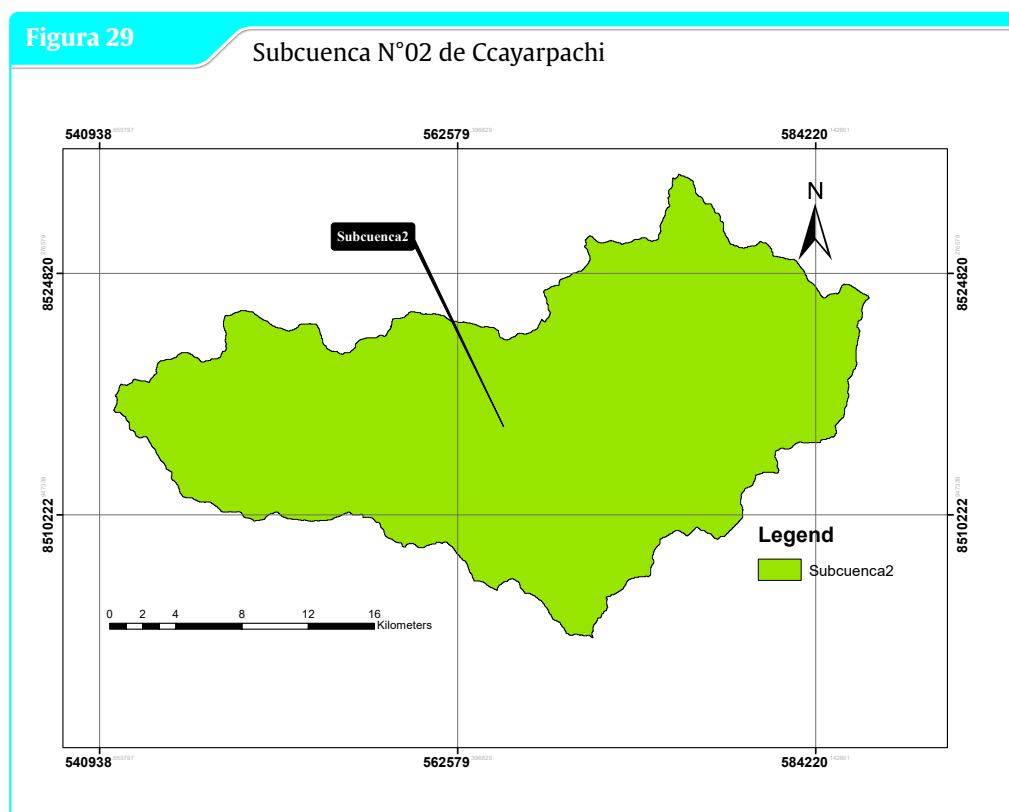


Fuente: Elaboración propia con ARCGIS y SAGA GIS

Tabla 8: Parámetros físicos de la Subcuenca N°01

Salida_X	Salida_Y	Perimetro (km)	Área(km ²)	Centroide_X
570266.06	8526805.77	164.98	390.52	543973.28
Elevación media (m.s.n.m)	Flujo medio	flujo máximo	Tiemp.Concentr.(Hrs)	Centroide_Y
4357.49	36156.39	56753.96	5.56	8524078.03

Fuente: Elaboración Propia con SAGA GIS

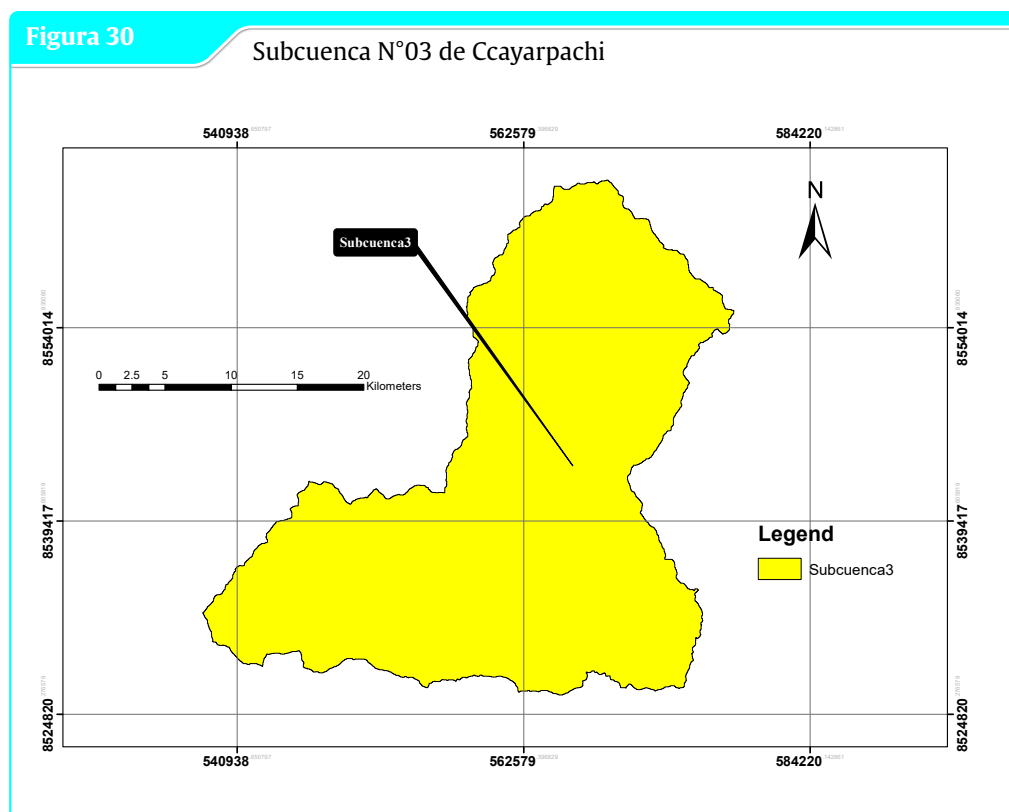


Fuente: Elaboración propia con ARCGIS y SAGA GIS

Tabla 9: Parámetros físicos de la Subcuenca N°02

Salida_X	Salida_Y	Perimetro (Km)	Área(km ²)	Centroide_X
567135.06	8516730.77	178.56	610.08	557152.51
Elevación media (m.s.n.m)	Flujo medio	flujo máximo	Tiemp.Concentr.(Hrs)	Centroide_Y
4219.02	18771.83	36531.59	3.71	8513433.06

Fuente: Elaboración Propia con Elaboración Propia con SAGA GIS



Fuente: Elaboración propia con Elaboración Propia con GRASS GIS

Tabla 10: Parámetros físicos de la Subcuenca N°03

Salida_X	Salida_Y	Perimetro (Km)	Área(km ²)	Centroide_X
570452.06	8531982.77	201.99	794.00	558639.69
Elevación media (m.s.n.m)	Flujo medio	flujo máximo	Tiemp.Concentr.(Hrs)	Centroide_Y
3978.86	16270.14	32657.12	3.191	8529701.54

Fuente: Elaboración Propia con SAGA GIS

3.9.4 Extracción de P_{máx.24Hrs} de PISCO SENAMHI para las subcuencas

Los estudios y sistemas de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico buscan generar información sobre las características climáticas e hidrológicas, lo que contribuye a entender la hidroclimatología de las cuencas y a monitorear eventos extremos. La elaboración de estos productos requiere una considerable inversión de tiempo para el tratamiento y evaluación de los datos, asegurando su calidad, continuidad y homogeneidad. La limitada densidad de estaciones meteorológicas en el país hace necesario el uso de métodos de regionalización e interpolación espacial para generar datos en áreas no instrumentadas. Esto conlleva el uso de diversas metodologías y fuentes de datos, lo que puede introducir sesgos en el tratamiento de la información. Para superar estos desafíos, el

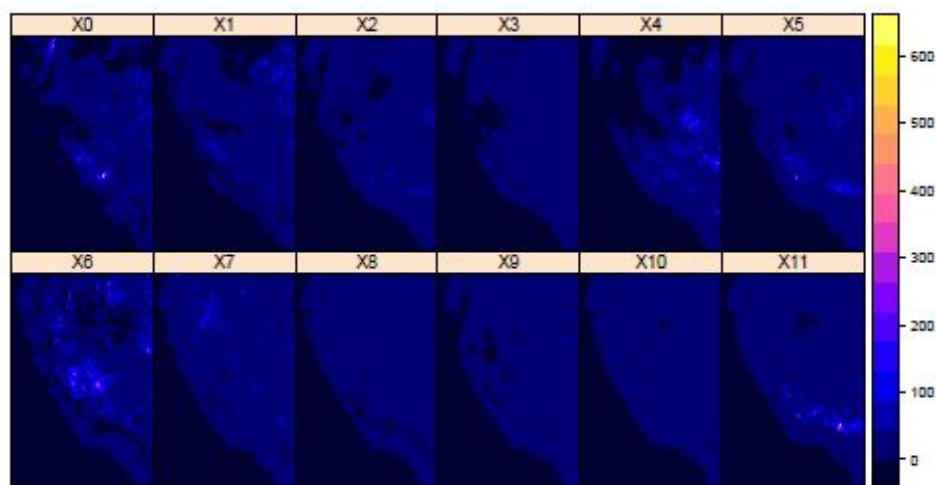
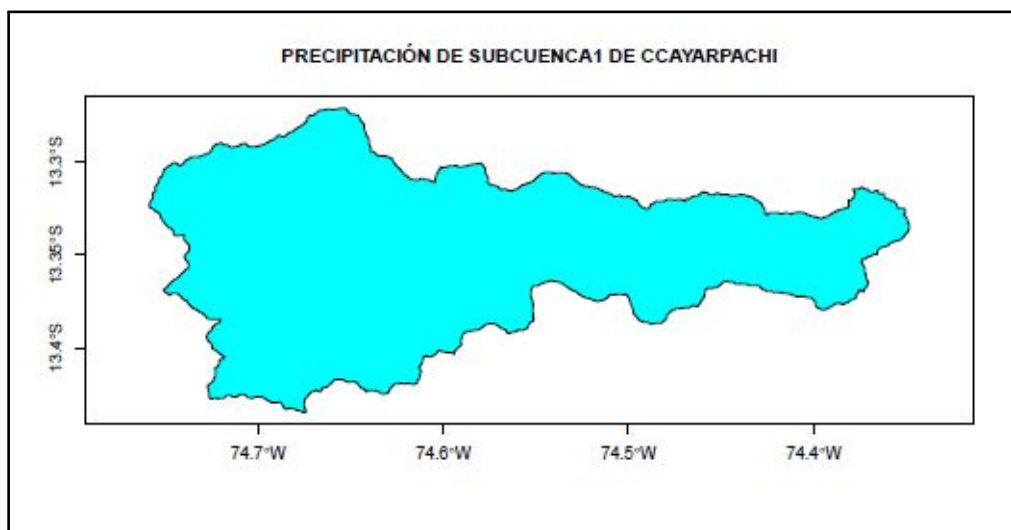
SENAMHI ha desarrollado la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). El producto PISCO de precipitación, tanto en su versión diaria como mensual, resulta de combinar datos de estaciones terrestres con climatologías, reanálisis y estimaciones satelitales de lluvias, creando una base de datos a nivel nacional con alta resolución espacial (5x5 km). Esta base de datos cubre desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016, proporcionando acceso a datos de precipitación para diversas aplicaciones hidrológicas, a pesar de sus limitaciones.

El SENAMHI, a través de su Dirección de Hidrología, ha elaborado esta nota técnica para difundir, promover y fomentar el uso del producto PISCO en la generación de diversos productos y servicios hidrometeorológicos, ampliando así la oferta de información hidroclimática disponible para el público. Se presenta el marco metodológico de construcción del PISCO, su validación, incertidumbre, y aplicaciones como el monitoreo de sequías e inundaciones y el modelamiento hidrológico para pronósticos a corto plazo.

En esta investigación, se prioriza la metodología y el uso del producto PISCO SENAMHI. Los datos de precipitación diaria (Pd) y mensual (Pm) están validados por el SENAMHI y se utilizan para estudios hidrológicos, especialmente en regiones con más estaciones hidrometeorológicas, excluyendo áreas como la selva y zonas con pocas estaciones. En la cuenca de Ccayarpachi, se han validado las precipitaciones del PISCO SENAMHI. La investigación utilizó el programa RStudio para extraer las precipitaciones diarias almacenadas en formato RASTER BRICK. Usando las librerías de RStudio, se obtuvieron las precipitaciones diarias en formato CSV para cada resolución de píxel (aproximadamente 5x5 km). Las precipitaciones máximas diarias anuales se calcularon procesando con Excel el promedio de los píxeles para cada año, similar a las precipitaciones obtenidas con el polígono de Thiessen, generando así los registros históricos de precipitación máxima diaria anual.

Figura 31

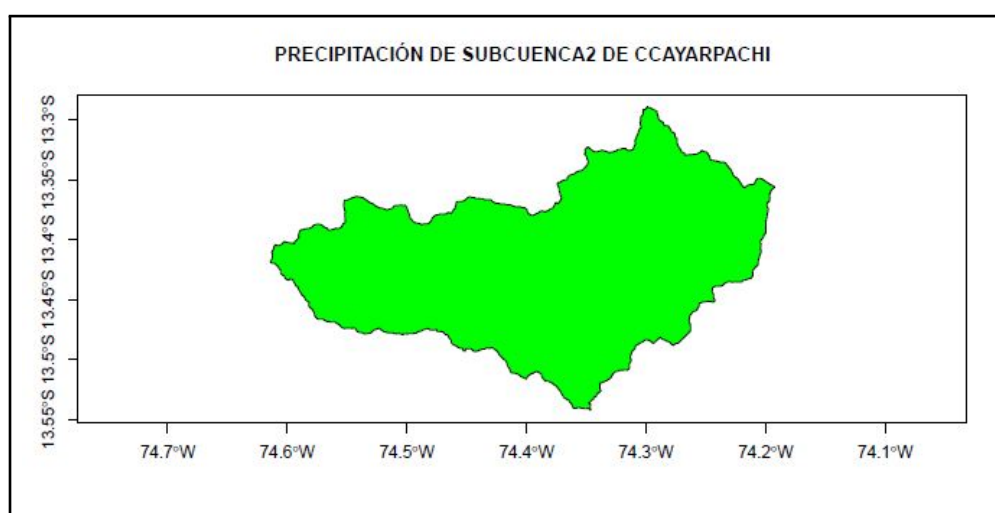
Archivo Raster Brick de las precipitaciones diarias del Pisco Senamhi

**Fuente:** Elaboración propia con RSTUDIO de PISCO - SENAMHI**Figura 32:** Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuenca 1**Fuente:** Elaboración Propia tomado con Rstudio**Tabla 11:** Precipitación máximo diario anual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Máx. anual
1981	9.7	8.7	12.6	2.5	0.9	0.2	0.1	12.7	1.4	4.4	9.1	10.2	12.7
1982	5.5	5.6	10.1	2.5	0.6	0.5	0.2	1.5	3.1	8.0	9.2	5.1	10.1
1983	9.1	5.5	14.0	3.6	1.9	1.2	0.2	0.5	5.6	0.7	5.1	9.6	14.0

1984	5.4	10.3	10.9	3.9	4.3	4.5	0.5	3.5	2.0	8.9	12.9	10.9	12.9
1985	6.2	4.9	10.4	3.2	1.5	1.3	0.9	2.0	2.2	1.8	8.1	9.4	10.4
1986	8.7	5.2	18.9	4.1	3.0	0.0	1.2	11.3	2.1	2.2	3.4	7.2	18.9
1987	7.5	6.4	19.2	4.5	0.9	0.8	2.0	1.6	1.2	3.5	5.5	6.5	19.2
1988	9.1	12.4	21.0	0.9	3.4	1.5	0.1	0.2	2.5	4.8	3.0	12.3	21.0
1989	9.8	5.6	14.7	3.7	2.6	3.8	1.0	7.0	6.0	7.1	12.4	8.0	14.7
1990	7.4	3.2	14.5	2.2	3.1	11.0	2.8	4.5	7.4	4.9	11.8	6.4	14.5
1991	4.3	7.3	16.1	2.6	3.0	5.1	1.3	0.6	4.0	5.5	14.6	8.7	16.1
1992	7.0	5.7	16.0	2.7	1.2	3.3	5.1	6.0	6.6	5.5	11.2	11.0	16.0
1993	9.8	10.2	19.6	3.2	5.5	2.9	3.3	4.1	3.4	13.2	9.4	16.5	19.6
1994	12.4	9.8	13.5	3.1	3.5	0.9	1.0	1.0	2.8	6.9	7.5	9.8	13.5
1995	5.9	5.4	10.0	2.4	4.9	0.9	0.5	0.8	4.5	3.5	11.2	9.9	11.2
1996	8.2	7.0	16.6	2.2	1.5	0.6	0.1	4.8	2.9	4.3	6.9	10.5	16.6
1997	8.1	10.3	18.3	2.8	2.0	0.2	0.1	16.8	11.3	9.6	6.6	8.8	18.3
1998	9.4	6.4	15.2	3.2	0.2	1.8	0.0	0.7	2.2	3.9	13.0	10.3	15.2
1999	4.8	9.5	15.1	5.8	1.8	5.0	2.3	0.6	3.2	13.8	6.0	11.4	15.1
2000	5.3	7.7	12.9	2.0	1.7	0.6	1.2	2.5	2.0	6.8	7.3	16.6	16.6
2001	8.8	6.4	9.1	2.7	4.7	0.5	3.6	1.3	4.7	3.8	8.9	9.1	9.1
2002	5.0	8.3	7.9	3.4	3.3	2.0	9.9	2.1	3.1	6.0	4.0	8.9	9.9
2003	7.8	7.5	16.4	2.7	2.7	0.0	0.3	7.2	4.5	7.0	7.8	9.2	16.4
2004	9.1	7.1	14.0	1.7	1.2	1.6	7.1	4.4	7.5	4.3	13.1	10.2	14.0
2005	6.8	9.4	15.9	1.5	1.6	0.0	0.8	1.2	4.8	5.0	5.8	9.5	15.9
2006	10.4	8.8	8.7	2.3	0.3	3.5	0.5	5.5	2.4	9.5	6.5	7.8	10.4
2007	10.0	8.3	16.8	2.9	1.9	0.1	1.1	1.4	6.7	6.5	12.3	15.7	16.8
2008	7.2	8.2	7.2	1.7	1.6	7.8	0.3	1.5	3.6	6.9	7.1	10.8	10.8
2009	6.8	10.5	11.0	2.6	4.0	0.5	3.7	1.4	2.3	9.8	12.4	11.9	12.4
2010	8.4	9.8	10.3	3.5	2.7	1.8	0.2	3.0	2.9	9.0	6.5	10.7	10.7
2011	9.5	9.9	7.8	3.1	2.4	0.1	1.8	1.6	2.0	3.6	7.5	13.4	13.4
2012	6.7	11.1	12.8	3.0	1.5	0.5	0.5	0.8	4.0	3.6	4.6	16.4	16.4
2013	7.9	5.6	11.7	1.8	4.1	1.6	1.5	4.5	11.8	11.0	7.5	11.4	11.8
2014	10.4	7.5	13.4	3.5	4.4	0.9	1.9	1.7	6.6	6.9	8.9	7.5	13.4
2015	10.7	8.4	11.5	1.2	3.4	3.0	1.7	2.0	1.9	6.8	6.4	12.1	12.1
2016	6.0	8.1	10.9	1.9	1.6	2.9	2.2	2.2	4.3	4.5	3.6	13.8	13.8

Fuente: Elaboración Propia con Excel y Rstudio

Figura 33: Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuenca 2

Fuente: Elaboración Propia tomado con Rstudio

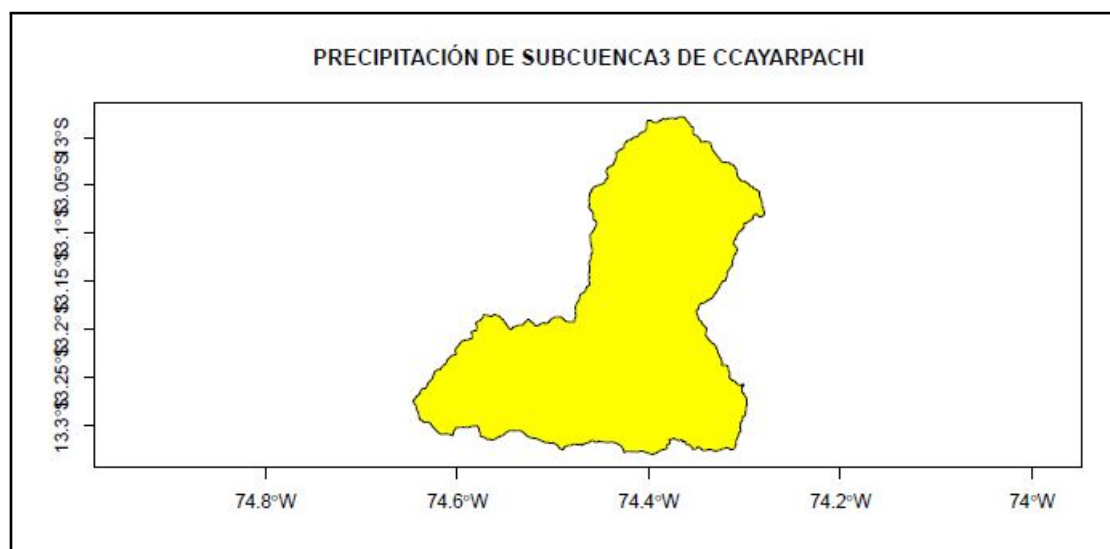
Tabla 12: Precipitación máximo diario anual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Máx. anual
1981	10	10.9	10.1	2.7	1.1	0.3	0.1	7.1	1.8	3.1	4.9	7.7	10.9
1982	8	8.1	8.1	2.4	0.3	0.9	0.2	1	3.1	5.5	5	5.1	8.1
1983	14.6	8.7	13	3.5	0.3	2.2	0.1	0.6	6.2	0.5	3.3	9.4	14.6
1984	8.5	12	12.4	5.9	5.1	14.1	0.3	3.2	2.8	9.7	6.5	9.7	14.1
1985	8.6	6.1	10.1	5.2	1.9	1.6	0.4	3.2	1.7	1.4	6.4	8.7	10.1
1986	9.2	6.8	15.3	5.6	3.8	0	1.4	9.1	2.8	1.8	3.2	7.5	15.3
1987	10.1	8.3	16.8	7.7	3.1	1.3	1.1	0.6	2.6	4.1	4.7	6.4	16.8
1988	11.4	18.2	18	1	5.8	0.8	0.1	0.2	6.4	5.3	1.9	10.7	18.2
1989	17.1	7.4	14.7	6.3	3	9	0.7	7.7	9.3	8.2	10.7	10.6	17.1
1990	9.3	7.4	14.7	4.7	2.7	14.8	2.2	7	15.6	6.2	9.2	5.3	15.6
1991	6.8	12.5	18.2	3.3	5	7.1	1.9	0.9	4.9	5.7	14.8	6.6	18.2
1992	10	9	13.1	2.6	3.2	3	4.4	6.5	8.8	4.9	9.6	6.9	13.1
1993	11.9	10.4	13.1	3.6	3.9	5.9	2.7	4.7	3.6	15.3	7.4	16.4	16.4
1994	15.8	10.3	10.1	4.5	2.2	3.2	0.8	0.8	3.4	7.1	5.7	6.6	15.8
1995	6.2	6.7	10.6	3.4	8.4	1	0.4	0.9	5.7	2.5	8.2	8	10.6
1996	9.8	9	15.3	3	1.1	1.3	0.1	4.3	2.5	3.2	4.8	7	15.3
1997	7.4	12.5	12.5	2.8	1.6	0.4	0.1	9.2	14.4	3.4	4.7	7.7	14.4
1998	9.1	9	15.6	4.3	0.3	2.9	0	0.6	2.7	3.6	11	10.2	15.6
1999	7.1	15	14.4	8.2	1.3	4.5	2	0.5	7.4	12.5	5	8.7	15

2000	7.8	11.4	11.3	2.2	2.5	1.2	0.7	0.9	2.8	5.8	5.7	12.1	12.1
2001	8.8	6.9	7.6	2.1	4.8	0.6	5.8	1.5	4.3	3.2	7.4	5.8	8.8
2002	4.2	8.7	7.2	3.4	1.6	0.8	8	2.9	4.7	5.4	3.3	9	9
2003	8.5	10.6	12.1	4.2	4.3	0.1	0.2	6.9	5.3	6.1	4.8	7.7	12.1
2004	8.9	10.2	9.8	1.7	1.4	2.5	7.4	4.5	8	2.9	8.9	7.2	10.2
2005	7	9.8	11.4	2	1.4	0	0.4	1.8	4.7	5.6	4.2	7.1	11.4
2006	12.6	10.7	10.6	4.3	0.2	4.3	0.2	3.9	3.1	8.9	5.4	6.2	12.6
2007	10.5	9.5	13.8	4.5	3.5	0.1	1.4	1.5	8	5.1	7.4	16	16
2008	8.9	10.1	8.6	2	3.2	5.4	0.2	1.3	1.6	5.2	6	8.9	10.1
2009	9.9	13.9	9.1	5.4	4.2	0.6	3.3	0.8	4.7	10.4	7.9	6.8	13.9
2010	10.4	13.2	11.7	4.5	8.1	1.7	0.1	3.2	2.3	10.4	3.7	11.2	13.2
2011	13.1	12.9	8.5	5.4	3.5	0.1	2.6	1	3.1	2.9	6.5	9.3	13.1
2012	9.6	16.5	11.7	3.7	1.4	0.7	0.7	0.6	3.6	3	3.1	9.9	16.5
2013	10.3	7.4	9	2.7	6.8	1	1.1	5.7	10.8	9.5	5.2	9.1	10.8
2014	11.2	10	13.1	4	4.4	1.8	0.5	1.4	6.5	6	7.7	6.5	13.1
2015	11.1	10.8	11.1	2.1	3.5	3.2	2.5	2.5	1.4	4.3	5.3	9.2	11.1
2016	5.8	9.2	10.2	2.6	1	4.2	2.1	2.4	6.2	4.1	2.5	10.5	10.5

Fuente: Elaboración Propia con Excel y Rstudio

Figura 34: Extracción de PISCO SENAMHI para la subcuena 3



Fuente: Elaboración Propia tomado con Rstudio

Tabla 13: Precipitación máximo diario anual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Máx. anual
1981	16.5	9.6	23	4	2.1	0.5	0.1	6.4	4.4	4.7	3.8	10.8	23
1982	9.5	8	27.2	3.9	1.1	0.7	0.6	1.2	3.3	6.8	6.7	4.7	27.2
1983	20.5	6.9	12.2	8.3	0.6	4.9	0.2	0.8	6.9	0.6	2.2	9.3	20.5
1984	14.2	8.5	13.8	9.8	8	8	0.4	4.4	5.8	11.6	8	8.7	14.2
1985	15.9	5	14	11.2	4.4	2.1	0.6	4.2	2.9	1.7	6.6	6.8	15.9
1986	18.2	7	26.6	6.9	1.8	0.1	0.7	8.9	3.7	1.8	2	7.2	26.6
1987	16.1	8.6	19.4	9.1	3.2	1.7	3.1	0.7	1.9	3.7	5.5	7.6	19.4
1988	12.8	17	26.6	1.2	9.8	1.6	0.2	0.2	5.4	8.5	2.7	9.2	26.6
1989	28	8.5	13	11.8	3.2	10.6	0.6	4.7	11.1	12.5	13.2	7.8	28
1990	11.6	6.4	15.2	15.7	1.8	19.4	3.2	6.7	21.1	6.2	6.8	6.6	21.1
1991	9.8	14.1	25.3	7	6.8	10.5	1.3	0.8	8.1	6.8	12.6	4.7	25.3
1992	16.7	9.7	16.1	4.4	2.6	9.7	5.8	10.4	9.1	5.4	13.8	7.1	16.7
1993	11.3	8.9	17.7	6.4	4	11.4	4.8	7.6	7	12.2	7.9	15.7	17.7
1994	21.2	10	13	7	3.5	2.9	0.3	1.2	5.3	9.8	4.9	7.1	21.2
1995	12	6.1	12.4	4.4	16.5	2.8	0.5	0.7	7.3	2.3	9.1	6.3	16.5
1996	8.1	8.9	17.9	6	1.2	2.1	0.2	7.9	3.5	5.1	5.7	7.6	17.9
1997	16.1	13.4	14.8	6	1.2	1.3	0.1	14.4	4.9	4.2	3.5	7.9	16.1
1998	10	10.6	14.9	5.1	0.4	7	0	0.9	5	4.6	16.8	10.8	16.8
1999	11.6	14.5	20.9	8.9	1.2	5.9	3.3	0.3	3.8	14.3	3.7	9.7	20.9
2000	11.7	9.1	12.9	6.6	2.5	2.4	1.3	2	1.8	5.5	5.6	11.6	12.9
2001	9.8	6.9	9.1	5.5	9.6	1	4.3	1.9	4.7	3.8	8.6	5.5	9.8
2002	6	10.3	9.7	4.6	9.9	0.6	8.9	1.5	8.7	5.7	3.2	8	10.3
2003	8	11.2	20.4	5.5	2.7	0.1	1.3	5.6	8.7	4.5	4.3	8.2	20.4
2004	9.6	9.8	9.6	2.3	2.1	2.3	6.7	6.3	10.5	5.6	7.2	5.9	10.5
2005	6.5	7.9	17.6	2.4	1.9	0.1	1.2	1.1	3.7	5.5	5.6	6.5	17.6
2006	11.3	10.4	9.1	8.8	0.6	1.6	0.2	6.3	2.2	8.2	4.9	5.1	11.3
2007	19.9	10.9	14.1	7.2	9.4	0.1	1.5	1.1	7.2	10	6.6	17.7	19.9
2008	8.9	7.3	8.1	4.8	2.9	8.9	0.3	1.4	2.8	5.8	5.7	6.6	8.9
2009	10.4	12.3	11.5	5.5	5	2	3.5	1.4	2.9	10.1	7.8	6.1	12.3
2010	12.4	14.1	15.4	7	4.7	4.5	0.6	5.7	2.9	11.6	3.9	12.6	15.4
2011	17.8	15	10.8	6.4	3	0.5	2.5	0.7	2.1	4.4	6.2	8.4	17.8
2012	8.5	14.7	8.7	5.4	1.1	1.1	0.9	0.6	6.6	3.6	4.8	9	14.7
2013	16.3	7.8	13	4	5.9	2.6	1	5.3	11.3	15.7	5.8	6.9	16.3

2014	12.1	12.2	23.1	7.4	5.7	2.3	0.4	1.1	6.9	7.8	11.3	5	23.1
2015	11.7	11.1	15.9	3.8	4	3.5	3.9	2.3	1.8	4.9	5.9	8.4	15.9
2016	8.8	7.7	13	4.6	1.3	5.7	3.2	4.6	7.8	5.2	3.2	10.3	13

Fuente: Elaboración Propia con Excel y Rstudio

3.9.5 Completación de datos de P_{máx24Hrs}

Luego de extraer los datos de precipitaciones diarias (Pd) del PISCO - SENAMHI, se realiza el procesamiento de datos para la obtención de las pricipitaciones máximas diarias anuales del año 1981 al 2016 , para la cuenca de Ccayarpachi, donde se realiza la completación de datos de las precipitaciones máximas diarias anuales hasta el año 2024 utilizando regresión lineal para la proyección y completación de datos.

Tabla 14: Cuadro de precipitaciones máximas diarias anuales

Año	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3
1981	12.7	10.9	23
1982	10.1	8.1	27.2
1983	14.0	14.6	20.5
1984	12.9	14.1	14.2
1985	10.4	10.1	15.9
1986	18.9	15.3	26.6
1987	19.2	16.8	19.4
1988	21.0	18.2	26.6
1989	14.7	17.1	28
1990	14.5	15.6	21.1
1991	16.1	18.2	25.3
1992	16.0	13.1	16.7
1993	19.6	16.4	17.7
1994	13.5	15.8	21.2
1995	11.2	10.6	16.5
1996	16.6	15.3	17.9
1997	18.3	14.4	16.1
1998	15.2	15.6	16.8
1999	15.1	15	20.9
2000	16.6	12.1	12.9
2001	9.1	8.8	9.8
2002	9.9	9	10.3

2003	16.4	12.1	20.4
2004	14.0	10.2	10.5
2005	15.9	11.4	17.6
2006	10.4	12.6	11.3
2007	16.8	16	19.9
2008	10.8	10.1	8.9
2009	12.4	13.9	12.3
2010	10.7	13.2	15.4
2011	13.4	13.1	17.8
2012	16.4	16.5	14.7
2013	11.8	10.8	16.3
2014	13.4	13.1	23.1
2015	12.1	11.1	15.9
2016	13.8	10.5	13
2017	15.3	10.7	16.4
2018	14.7	12.2	21.6
2019	13.8	10.1	25.7
2020	15.2	9.8	21.6
2021	17.1	18.3	9.8
2022	17.7	9.7	20.3
2023	16.5	15.2	23.6
2024	21.3	13.3	19.5

Fuente: Elaboración Propia con Excel

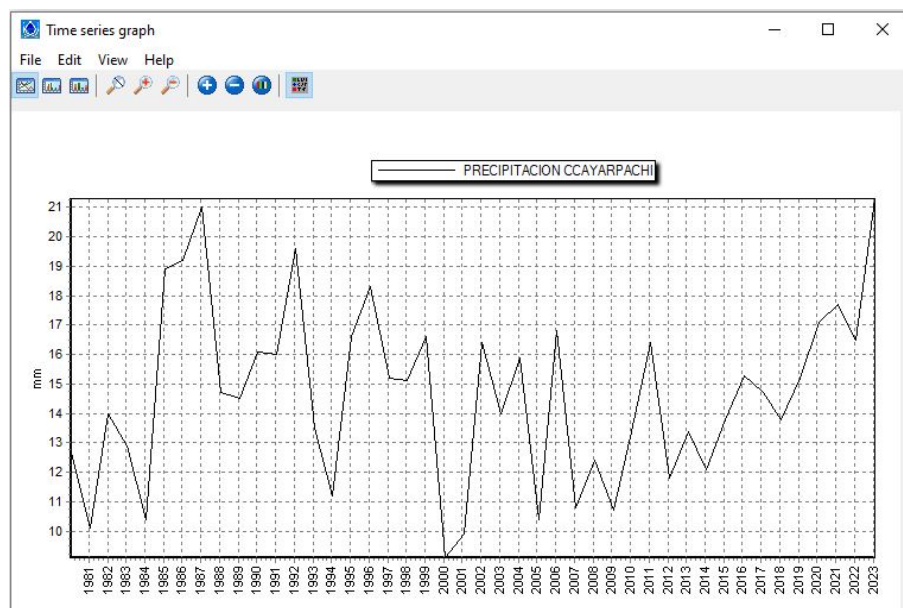
3.9.6 Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°01

3.9.6.1 Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°01

Luego de procesar las precipitaciones máximas diarias anuales y ordenar por mes y año podemos observar en la Figura N°35, que tenemos en series de tiempo desde el año 1981.

Figura 35

Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas (Pmáx.24Hrs)



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.6.2

Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov

Figura 36

Consistencia de los datos de Pmáx.24Hrs para la función de probabilidad del LogPearsonIII

Statistics

File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests

Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts

Kolmogorov-Smirnov test for: All data

	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.8526%	0.05597
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9576%	0.05191
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.5328%	0.07546
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.6010%	0.06002
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.0077%	0.15334
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	21.1199%	0.15798
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.5895%	0.06673
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.6096%	0.05992
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.9742%	0.07657
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.8904%	0.10120
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.2686%	0.14325
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	75.1121%	0.10007
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.8770%	0.05532
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.6559%	0.05936
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9294%	0.05346
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.5146%	0.10154
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9036%	0.05448
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9785%	0.05004
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	85.2723%	0.08994
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	40.3082%	0.13275
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	79.9995%	0.09540
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.7770%	0.05755

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- Pearson III
- LogPearsonIII**
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- Weibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV2-Min

Reset

Empirical Distributions

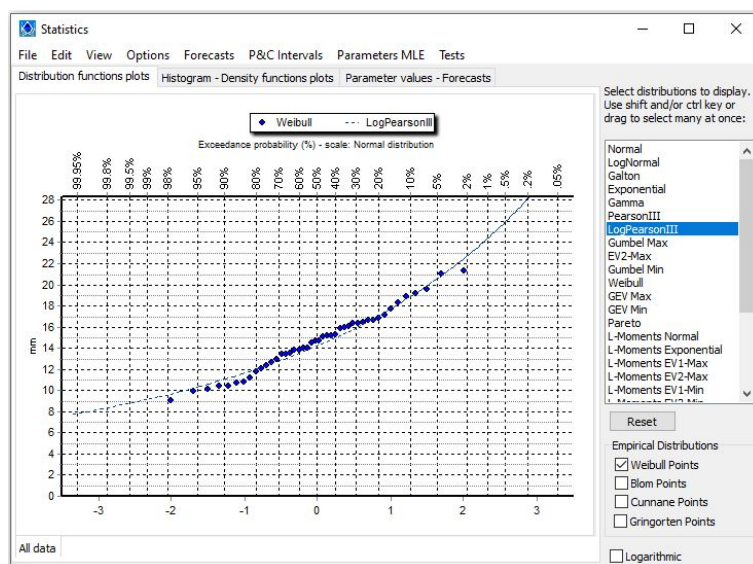
- ☒ Weibull Points
- ☐ Blom Points
- ☐ Cunnane Points
- ☐ Gringorten Points
- ☐ Logarithmic

Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.6.3 Elección de la distribución estadística de LogPearsonIII

Para las precipitaciones observadas la distribución que más se ajusta es el LogPerson III donde podemos observar en la figura N°37

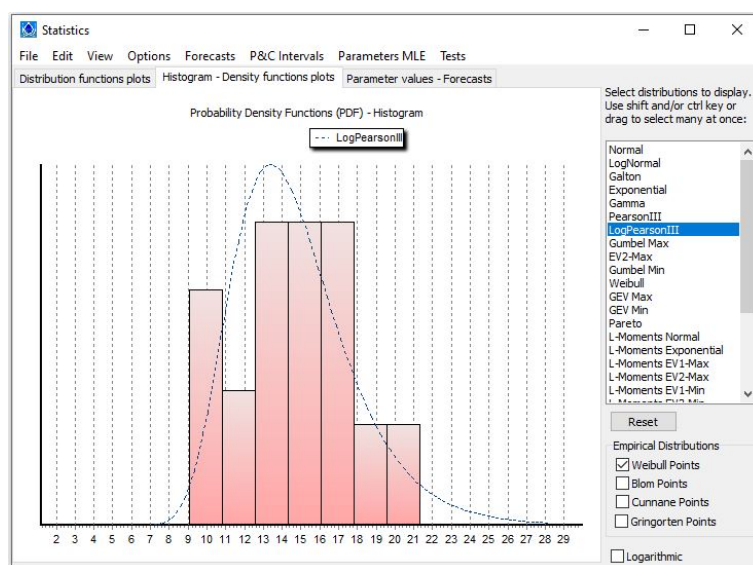
Figura 37 Distribución de los datos y el modelo de LogPearsonIII para la P_{máx.24Hrs}



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.6.4 Histograma para los datos de LogPearsonIII

Figura 38 Histograma para los datos de la P_{máx.24Hrs}



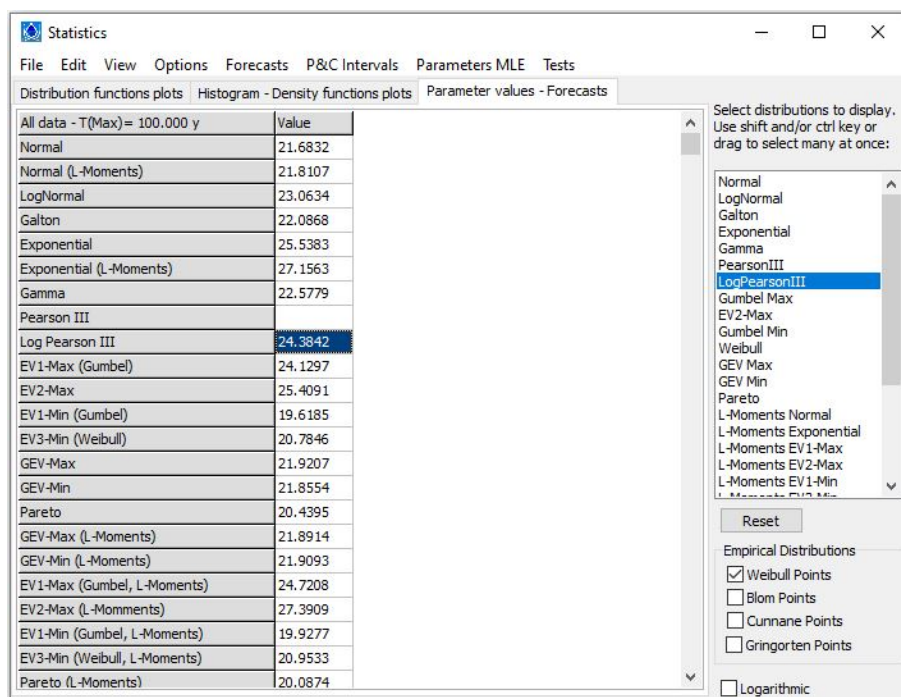
Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.6.5 Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno

El modelo de logPearsonIII nos pronostica la precipitación para diferentes tiempo de retorno pero es necesario realizar el modelo de las curvas IDF para conocer la intensidad y la duración de la tormenta.

Figura 39

Pronóstico con función de distribución LogPearsonIII para la P_{máx.24Hrs} con un TR=100 años



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

Luego de procesar los registros históricos de precipitación máxima diaria anual necesitamos proyectar las precipitaciones para diferentes tiempos de retorno para ello utilizamos la estadística Inferencial probabilística estocástica como podemos apreciar en la Figura N°39 los datos observados se ajustan mejor a la distribución de LogPearsonIII, donde se aprecia para 1 % una confiabilidad del 99 % datos con un mejor ajuste a la distribución probabilística de LogPearsonIII, aceptando y calculando la precipitación para un periodo de retorno de T=100 años igual a 24.384 mm, es importante determinar estos valores para luego, calcular las curvas IDF con el método DICK PESCHKE utilizando regresión lineal y el programa Hydrognomon para la obtención de las precipitaciones con funciones de distribución probabilística para diferentes tiempos de retorno de las curvas IDF. Donde tenemos la siguiente fórmula:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (3.1)$$

Donde:

- P_d =precipitación total (mm)
- P_{24h} =Precipitación máxima en 24 horas (mm)
- d =duración en minutos

Como podemos observar solo tenemos la fórmula para un día y necesitamos obtener para varios tiempos de retorno, para este caso utilizaremos la herramienta de regresión lineal múltiple para obtener la ecuación de curvas IDF Intensidad, duración y frecuencia, donde podemos apreciar en la ecuación 3.2 de regresión lineal múltiple para generar curvas IDF:

$$y = a + bx \quad (3.2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.3)$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \quad (3.4)$$

3.9.6.6 Cálculo de las curvas IDF

El cálculo de las curvas IDF se determinó mediante regresión lineal múltiple para la obtención de los parámetros K, m y n, generalizando la fórmula para cualquier valor de duración, intensidad y tiempos de retorno, para esta investigación se utilizó el programa IDF-Tormenta V-4.0.1 para la automatización.

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (3.5)$$

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

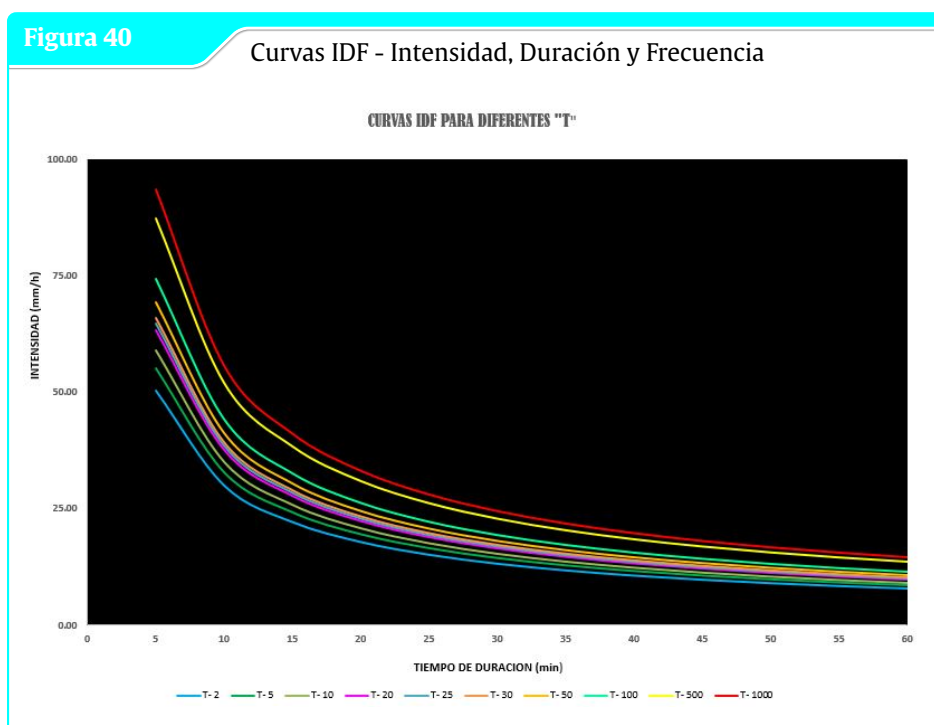
m, n y k = Parámetros de ajuste de las curvas IDF.

$$I = \frac{157.025T^{0.10}}{t^{0.75}} \quad (3.6)$$

Tabla 15: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

TR (años)	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T- 2	50.33	29.93	22.08	17.8	15.05	13.13	11.7	10.58	9.69	8.95	8.33	7.81
T- 5	55.16	32.8	24.2	19.5	16.5	14.39	12.82	11.6	10.62	9.81	9.13	8.56
T- 10	59.12	35.15	25.94	20.9	17.68	15.42	13.74	12.43	11.38	10.51	9.79	9.17
T- 20	63.37	37.68	27.8	22.4	18.95	16.53	14.72	13.32	12.19	11.27	10.49	9.83
T- 25	64.8	38.53	28.43	22.91	19.38	16.9	15.06	13.62	12.47	11.52	10.73	10.05
T- 30	65.99	39.24	28.95	23.33	19.74	17.21	15.33	13.87	12.7	11.73	10.93	10.23
T- 50	69.45	41.29	30.47	24.55	20.77	18.12	16.14	14.6	13.37	12.35	11.5	10.77
T- 100	74.43	44.26	32.65	26.32	22.26	19.42	17.3	15.65	14.32	13.24	12.32	11.54
T- 500	87.43	51.99	38.35	30.91	26.15	22.81	20.32	18.38	16.83	15.55	14.47	13.56
T- 1000	93.71	55.72	41.11	33.13	28.02	24.44	21.77	19.7	18.03	16.66	15.51	14.53

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

3.9.6.7 Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°01

Una vez obtenido las curvas IDF podemos construir los hietogramas de diseño para el ingreso al programa HEC HMS para el cálculo del caudal en función a la duración, frecuencia y tiempo de

retorno, donde la duración se encuentra en función al tiempo de concentración de la cuenca, para la presente investigación se utilizó el método de bloques alternos para la construcción del Hietograma para un tiempo de retorno TR=100 años

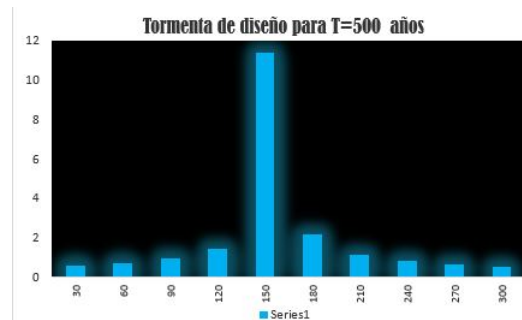
Tabla 16: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Durac.(min)	Int.(mm/h)	P.acu.(mm)	ΔP (mm)	Int. parcial (mm/h)	P. Alt. (mm)	Acum.(mm)
30	19.41	9.70	9.70	19.41	0.48	0.97
60	11.54	11.54	1.83	3.67	0.59	1.19
90	8.51	12.77	1.23	2.46	0.78	1.57
120	6.86	13.72	0.95	1.90	1.23	2.46
150	5.80	14.51	0.78	1.57	9.70	19.41
180	5.06	15.19	0.67	1.35	1.83	3.67
210	4.51	15.79	0.59	1.19	0.95	1.90
240	4.08	16.32	0.53	1.07	0.67	1.35
270	3.73	16.81	0.48	0.97	0.53	1.07
300	3.45	17.26	0.44	0.89	0.44	0.89

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

Figura 41

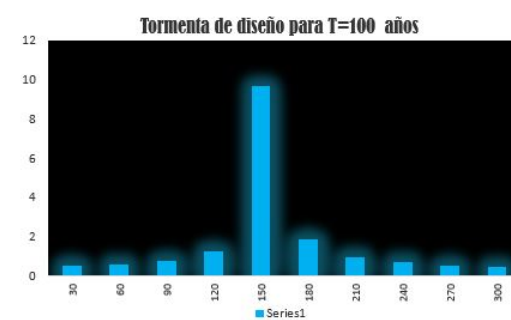
Hietograma para TR=500 años



Fuente: Elaboracion Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

Figura 42

Hietograma para TR=100 años

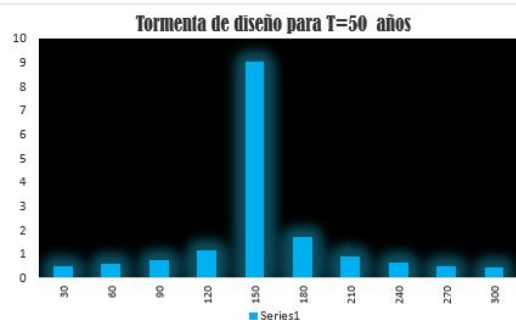


Fuente: Elaboracion Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

Figura 43

Hietograma para TR=50

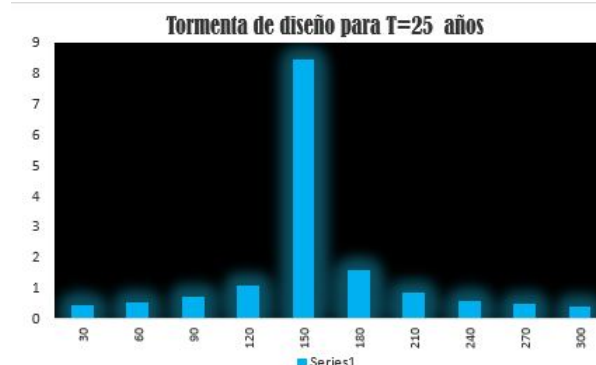
años



Fuente: Elaboracion Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

Figura 44

Hietograma para TR=25 años



Fuente: Elaboracion Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

3.9.7 Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°02

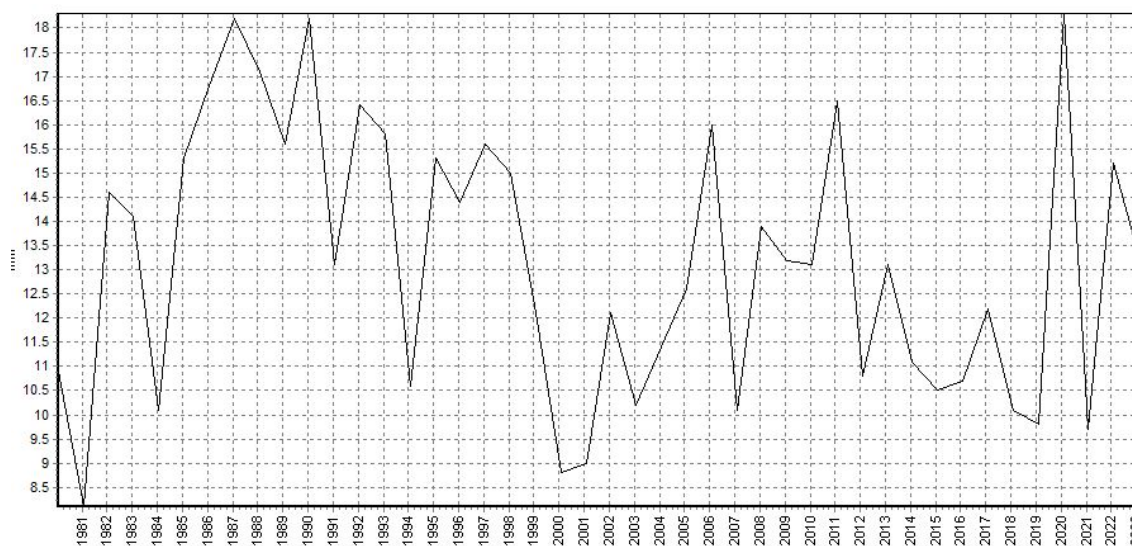
3.9.7.1 Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°02

Luego de procesar las precipitaciones máximas diarias anuales y ordenar por mes y año podemos observar en la Figura N°45, que tenemos en series de tiempo desde el año 1981.

Figura 45

Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas

(Pmáx.24Hrs)



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.7.2 Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov

Figura 46

Consistencia de los datos de P_{máx.24Hrs} para la función de probabilidad del PearsonIII

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.5948%	0.10147
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.3148%	0.09509
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	75.9366%	0.09930
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76.6288%	0.09865
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14.9456%	0.16986
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	20.6795%	0.15873
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81.1703%	0.09424
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.5948%	0.10147
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.5793%	0.09774
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	55.2190%	0.11805
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25.2977%	0.15140
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	37.1012%	0.13628
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	67.4742%	0.10700
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	82.6862%	0.09269
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	85.5252%	0.08966
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.3090%	0.07121
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88.6939%	0.08596
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.3575%	0.08099
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	67.6924%	0.10681
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.8056%	0.14258
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	48.2995%	0.12460
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	75.4720%	0.09973

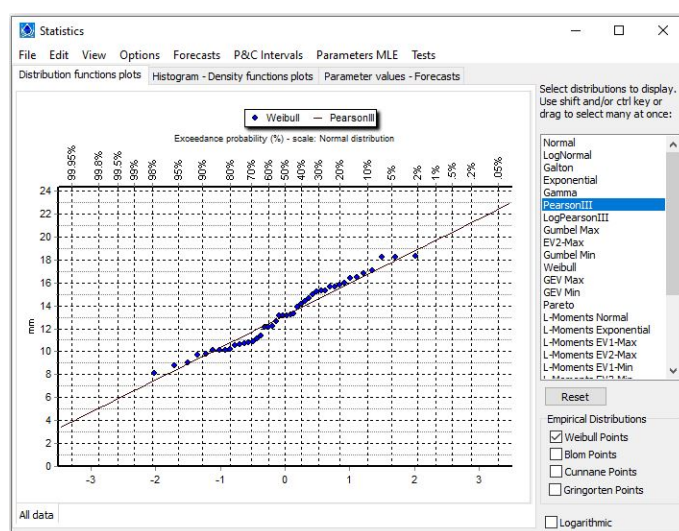
Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.7.3 Elección de la distribución estadística de PearsonIII

Para las precipitaciones observadas la distribución que más se ajusta es PearsonIII donde podemos observar en la figura N°47

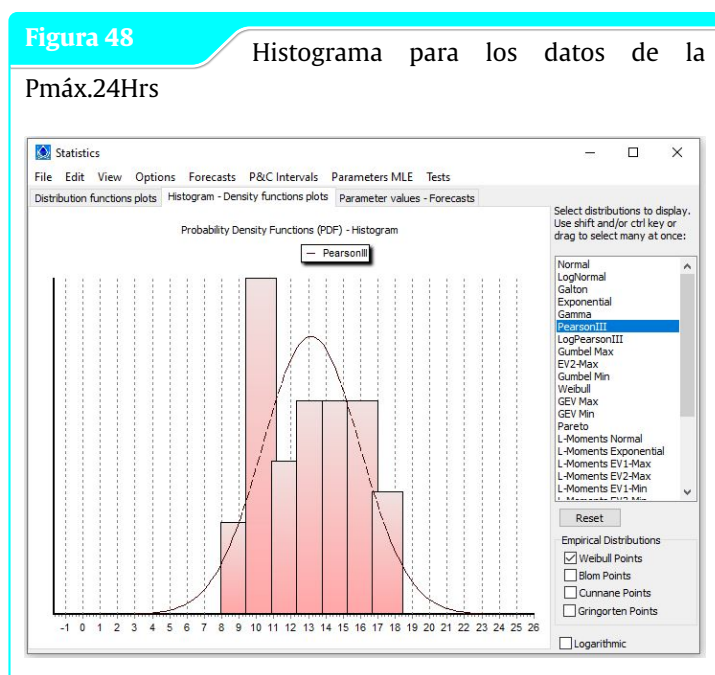
Figura 47

Distribución de los datos y el modelo de PearsonIII para la P_{máx.24Hrs}



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

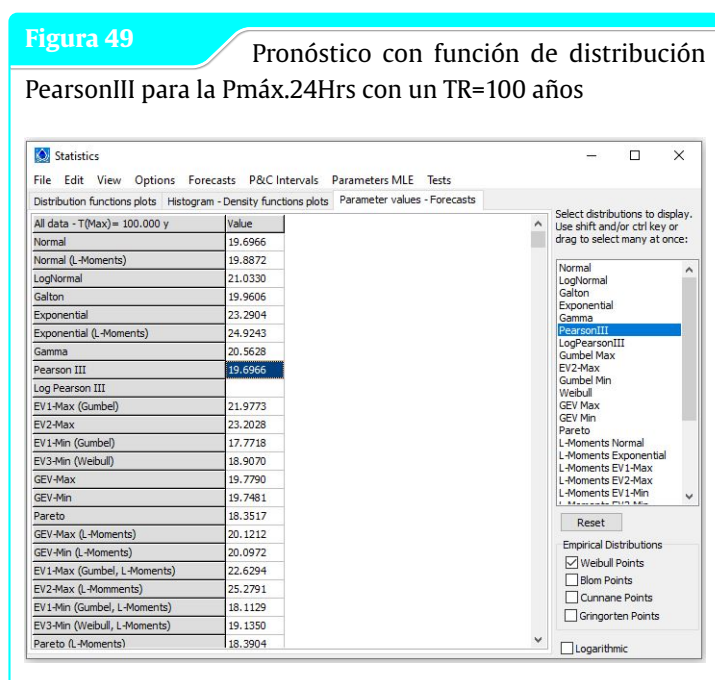
3.9.7.4 Histograma para los datos de PearsonIII



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.7.5 Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno

El modelo de PearsonIII nos pronostica la precipitación para diferentes tiempo de retorno pero es necesario realizar el modelo de las curvas IDF para conocer la intensidad y la duración de la tormenta.



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.7.6 Cálculo de las curvas IDF

El cálculo de las curvas IDF se determinó mediante regresión lineal múltiple para la obtención de los parámetros K, m y n, generalizando la fórmula para cualquier valor de duración, intensidad y tiempos de retorno, para esta investigación se utilizó el programa IDF-Tormenta V-4.0.1 para la automatización.

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (3.7)$$

Donde:

I= Intensidad de precipitación (mm/h)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

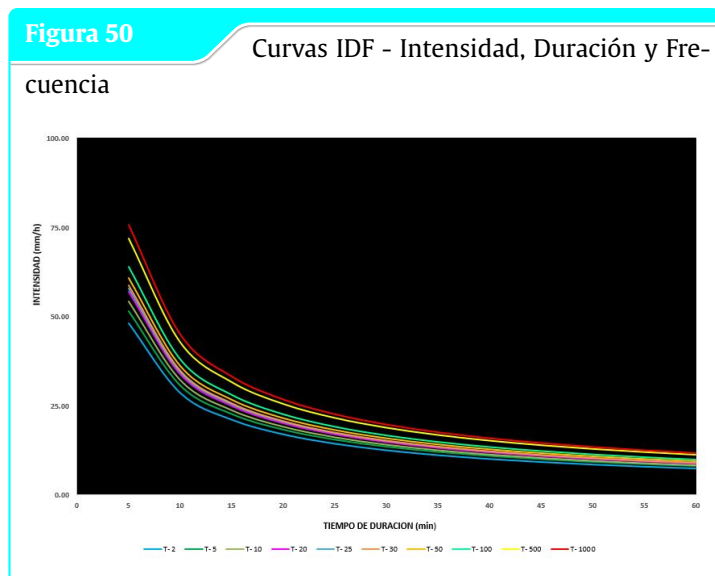
m, n y k = Parámetros de ajuste de las curvas IDF

$$I = \frac{153.27T^{0.072}}{t^{0.75}} \quad (3.8)$$

Tabla 17: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Duración en minutos												
TR (años)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T- 2	48.2	28.6	21.1	17.0	14.4	12.6	11.2	10.1	9.3	8.6	8.0	7.5
T- 5	51.5	30.6	22.6	18.2	15.4	13.4	12.0	10.8	9.9	9.2	8.5	8.0
T- 10	54.2	32.2	23.8	19.1	16.2	14.1	12.6	11.4	10.4	9.6	9.0	8.4
T- 20	57.0	33.9	25.0	20.1	17.0	14.9	13.2	12.0	11.0	10.1	9.4	8.8
T- 25	57.9	34.4	25.4	20.5	17.3	15.1	13.5	12.2	11.1	10.3	9.6	9.0
T- 30	58.7	34.9	25.7	20.7	17.5	15.3	13.6	12.3	11.3	10.4	9.7	9.1
T- 50	60.9	36.2	26.7	21.5	18.2	15.9	14.1	12.8	11.7	10.8	10.1	9.4
T- 100	64.0	38.1	28.1	22.6	19.2	16.7	14.9	13.5	12.3	11.4	10.6	9.9
T- 500	72.0	42.8	31.6	25.5	21.5	18.8	16.7	15.1	13.9	12.8	11.9	11.2
T- 1000	75.7	45.0	33.2	26.8	22.6	19.7	17.6	15.9	14.6	13.5	12.5	11.7

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

3.9.7.7 Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°02

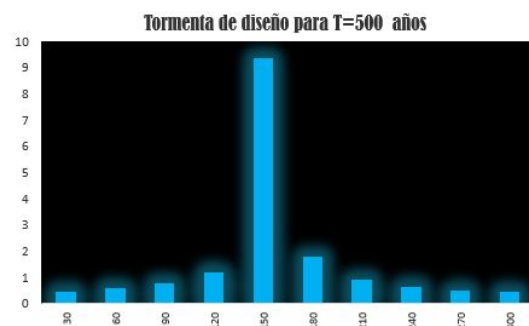
Una vez obtenido las curvas IDF podemos construir los hietogramas de diseño para el ingreso al programa HEC HMS para el cálculo del caudal en función a la duración, frecuencia y tiempo de retorno, donde la duración se encuentra en función al tiempo de concentración de la cuenca, para la presente investigación se utilizó el método de bloques alternos para la construcción del Hietograma para un tiempo de retorno TR=100 años

Tabla 18: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Durac.(min)	Int.(mm/h)	P.acum (mm)	ΔP (mm)	parcial(mm/h)	P. Alt. (mm)	InPa Alt. (mm)
30	16.70	8.35	8.35	16.70	0.42	0.83
60	9.93	9.93	1.58	3.16	0.51	1.02
90	7.32	10.99	1.06	2.11	0.67	1.35
120	5.90	11.81	0.82	1.63	1.06	2.11
150	4.99	12.48	0.67	1.35	8.35	16.70
180	4.35	13.07	0.58	1.16	1.58	3.16
210	3.88	13.58	0.51	1.02	0.82	1.63
240	3.51	14.04	0.46	0.92	0.582	1.16
270	3.21	14.46	0.42	0.83	0.461	0.92
300	2.97	14.85	0.38	0.77	0.386	0.77
330	2.76	15.21	0.35	0.71	0.334	0.66
360	2.59	15.54	0.33	0.66	0.297	0.59

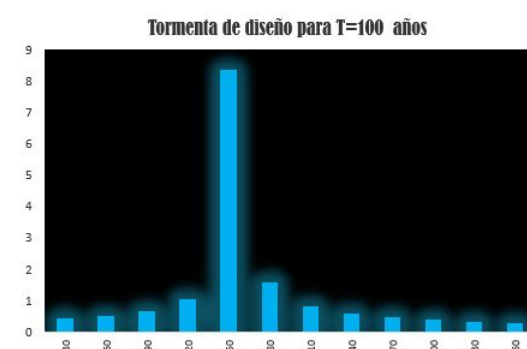
Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

Figura 51 Hietograma para TR=500 años



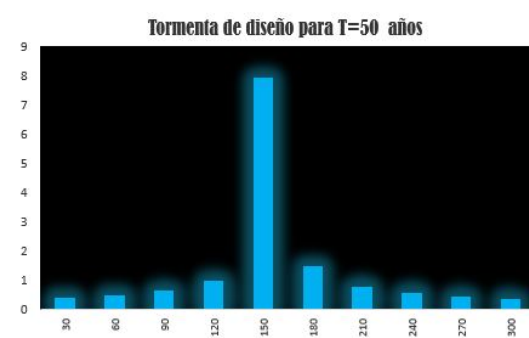
Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 52 Hietograma para TR=100 años



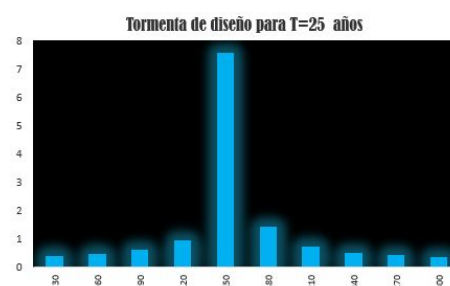
Fuente: Elaboracion Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 53 Hietograma para TR=50 años



Fuente: Elaboracion Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 54 Hietograma para TR=25 años



Fuente: Elaboracion Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

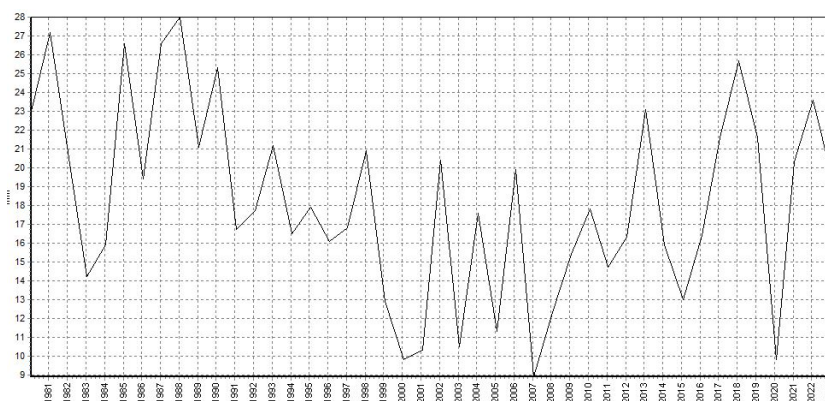
3.9.8 Consistencia de datos con Hydrognomon para la subcuenca N°03

3.9.8.1 Series de tiempo para la precipitación de la subcuenca N°03

Luego de procesar las precipitaciones máximas diarias anuales y ordenar por mes y año podemos observar en la Figura N°55, que tenemos en series de tiempo desde el año 1981.

Figura 55

Series de tiempo para los datos de la Precipitación máxima diaria anual en 24 horas (Pmáx.24Hrs)

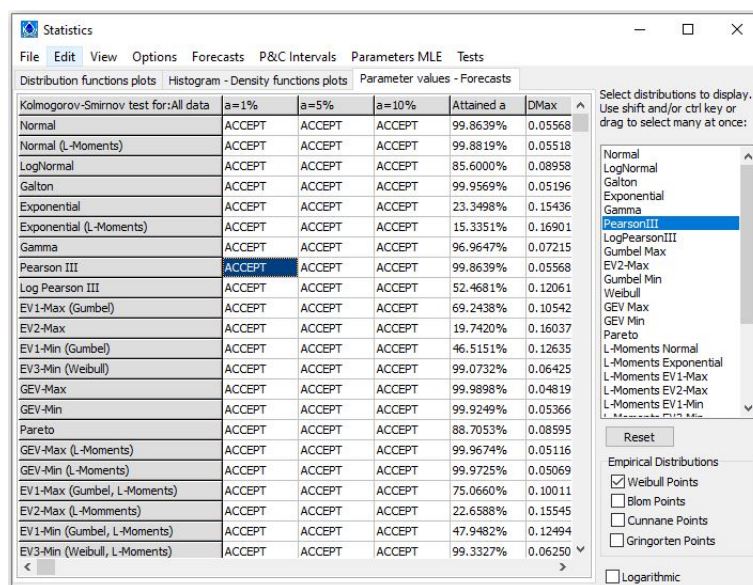


Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.8.2 Prueba de consistencia por Smirnov Kolmogorov

Figura 56

Consistencia de los datos de Pmáx.24Hrs para la función de probabilidad del PearsonIII



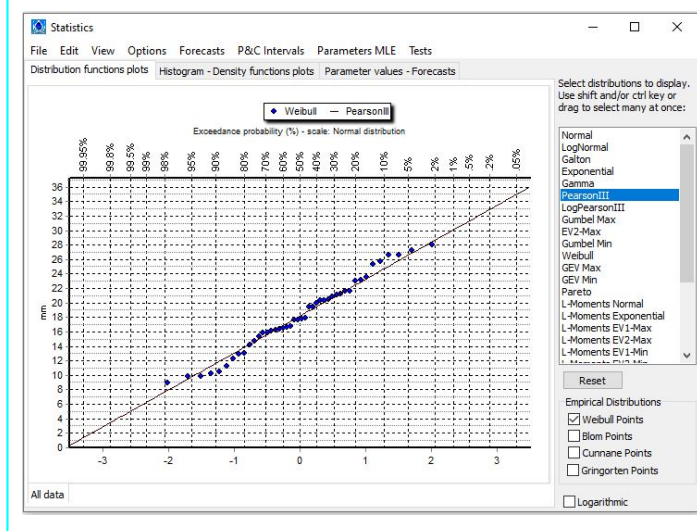
Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.8.3 Elección de la distribución estadística de PearsonIII

Para las precipitaciones observadas la distribución que más se ajusta es PearsonIII donde podemos observar en la figura N°57

Figura 57

Distribución de los datos y el modelo de PearsonIII para la P_{máx.24Hrs}

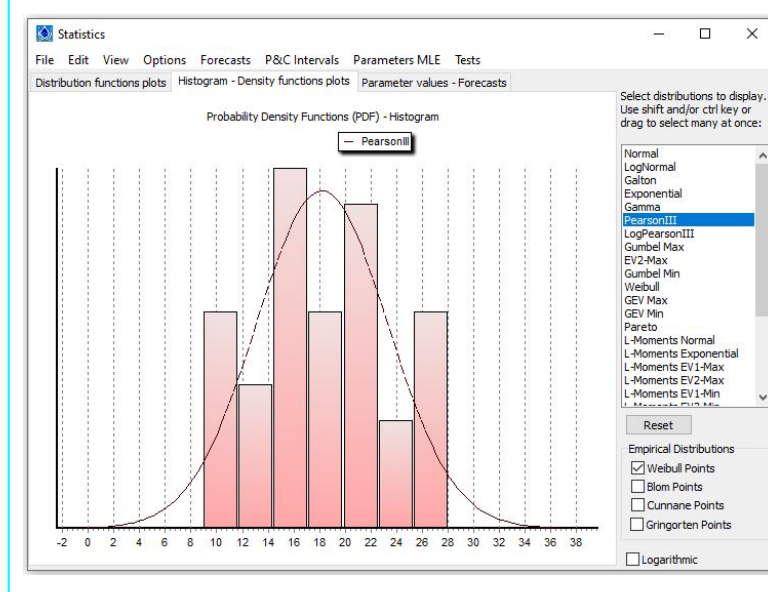


Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.8.4 Histograma para los datos de PearsonIII

Figura 58

Histograma para los datos de la P_{máx.24Hrs}



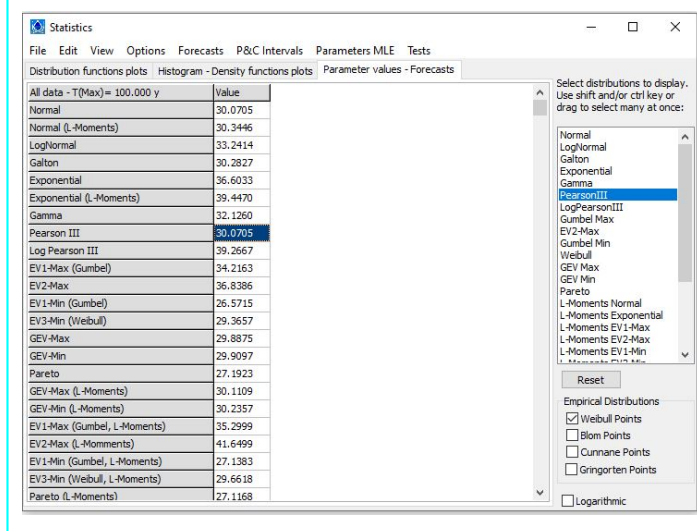
Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.8.5 Pronóstico de precipitación para diferentes tiempos de retorno

El modelo de PearsonIII nos pronostica la precipitación para diferentes tiempo de retorno pero es necesario realizar el modelo de las curvas IDF para conocer la intensidad y la duración de la tormenta.

Figura 59

Pronóstico con función de distribución
PearsonIII para la P_{máx.24Hrs} con un TR=100 años



Fuente: Elaborado Propia con Hydrognomon

3.9.8.6 Cálculo de las curvas IDF

El cálculo de las curvas IDF se determinó mediante regresión lineal múltiple para la obtención de los parámetros K, m y n, generalizando la fórmula para cualquier valor de duración, intensidad y tiempos de retorno, para esta investigación se utilizó el programa IDF-Tormenta V-4.0.1 para la automatización.

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (3.9)$$

Donde:

I= Intensidad de precipitación (mm/h)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

m, n y k = Parámetros de ajuste de las curvas IDF

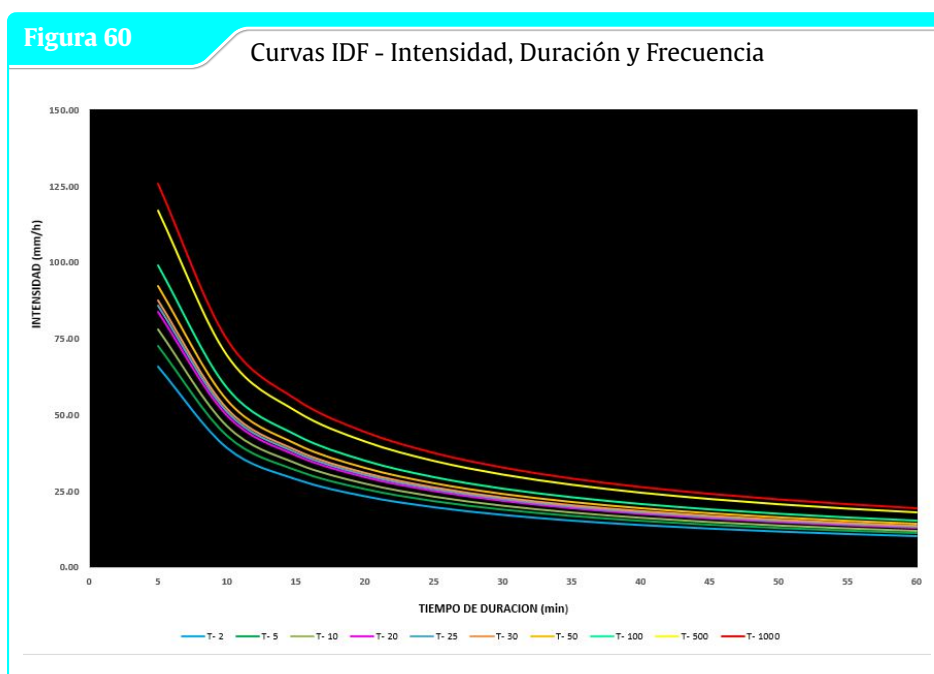
$$I = \frac{205.44T^{0.007}}{t^{0.75}} \quad (3.10)$$

Tabla 19: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Duración en minutos												
TR (años)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T- 2	66.0	39.3	29.0	23.4	19.8	17.2	15.3	13.9	12.7	11.7	10.9	10.2

T- 5	72.6	43.2	31.9	25.7	21.7	19.0	16.9	15.3	14.0	12.9	12.0	11.3
T- 10	78.1	46.4	34.2	27.6	23.3	20.4	18.1	16.4	15.0	13.9	12.9	12.1
T- 20	83.9	49.9	36.8	29.7	25.1	21.9	19.5	17.6	16.1	14.9	13.9	13.0
T- 25	85.9	51.1	37.7	30.4	25.7	22.4	20.0	18.1	16.5	15.3	14.2	13.3
T- 30	87.5	52.0	38.4	30.9	26.2	22.8	20.3	18.4	16.8	15.6	14.5	13.6
T- 50	92.3	54.9	40.5	32.6	27.6	24.1	21.4	19.4	17.8	16.4	15.3	14.3
T- 100	99.2	59.0	43.5	35.1	29.7	25.9	23.0	20.9	19.1	17.6	16.4	15.4
T- 500	117.2	69.7	51.4	41.5	35.1	30.6	27.2	24.6	22.6	20.9	19.4	18.2
T- 1000	126.0	74.9	55.3	44.5	37.7	32.9	29.3	26.5	24.3	22.4	20.9	19.5

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1



Fuente: Elaborado Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

3.9.8.7 Cálculo del Hietograma de Diseño para subcuenca N°03

Una vez obtenido las curvas IDF podemos construir los hietogramas de diseño para el ingreso al programa HEC HMS para el cálculo del caudal en función a la duración, frecuencia y tiempo de retorno, donde la duración se encuentra en función al tiempo de concentración de la cuenca, para la presente investigación se utilizó el método de bloques alternos para la construcción del Hietograma para un tiempo de retorno TR=100 años

Tabla 20: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Durac. (min)	Int. (mm/h)	P.acum (mm)	ΔP (mm)	Int. parcial (mm/h)	P. Alt. (mm)	InPa Alt. (mm)
--------------	-------------	-------------	---------	---------------------	--------------	----------------

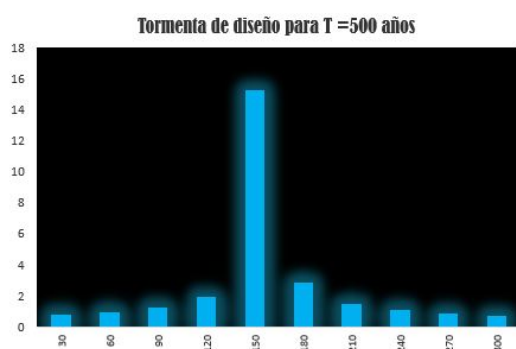
30	25.867	12.934	12.934	25.867	0.65	1.3
60	15.381	15.381	2.447	4.894	0.795	1.591
90	11.348	17.022	1.641	3.282	1.049	2.099
120	9.145	18.291	1.269	2.539	1.641	3.282
150	7.736	19.34	1.049	2.099	12.93	25.86
180	6.747	20.242	0.902	1.804	2.447	4.894
210	6.011	21.038	0.795	1.591	1.269	2.539
240	5.438	21.752	0.714	1.428	0.902	1.804
270	4.978	22.402	0.65	1.3	0.714	1.428
300	4.6	23	0.598	1.196	0.598	1.196

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0

Figura 61

Hietograma para TR=500

años

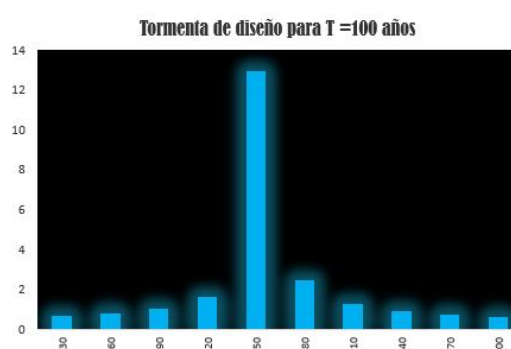


Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 62

Hietograma para TR=100

años

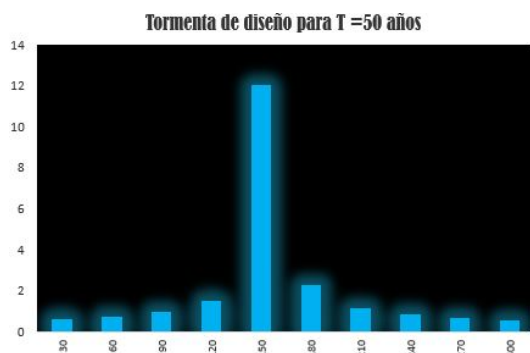


Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 63

Hietograma para TR=50

años

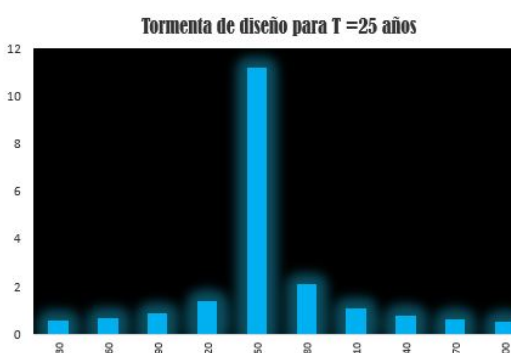


Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

Figura 64

Hietograma para TR=25

años



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.0.1

3.9.9 Cálculo del número de Curva para las subcuencas

Se ha calculado el número de curva de las subcuencas utilizando el programa ArcGIS, con el complemento del programa denominado HEC-GEOHMS, para ello se ingresa los archivos principales como materia prima, el LC (Land Cover) y LU (Land Use), son los usos y coberturas de suelo, donde tenemos el Croop soil (suelos de agricultura), Body Water (Cuerpos de Agua), Built up (Áreas construidas), vegetation (Vegetaciones), etc las cuales forman parte de los usos y coberturas de suelos que se cuentan en la cuenca de Ccayarpachi, también se necesitan ingresar los valores como tipo de cobertura, condición hidrológica los números de curva para el grupo hidrológico de suelo como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 21: Valores de número de curvas

Número de Curva para grupo Hidrológico					
Tipo de cobertura y condición hidrológica	Porcentaje de área	A	B	C	D
Desarrollo de áreas urbanas		68	79	86	89
Espacio libre (parques, golf, cementerios)		49	69	79	84
Condición pobre (cobertura de grass <50 %)		39	61	74	80
Condición medio (cobertura de grass 50 % a 75 %)		98	98	98	98
Condición buena (cobertura de grass >75 %)		98	98	98	98
Pavimentos de parqueos grandes		76	85	89	93
Ciudades y Carreteras		72	82	87	91
Pavimentado, alcantarillas pluviales	98	98	98	98	98
Comercial y negocio	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93

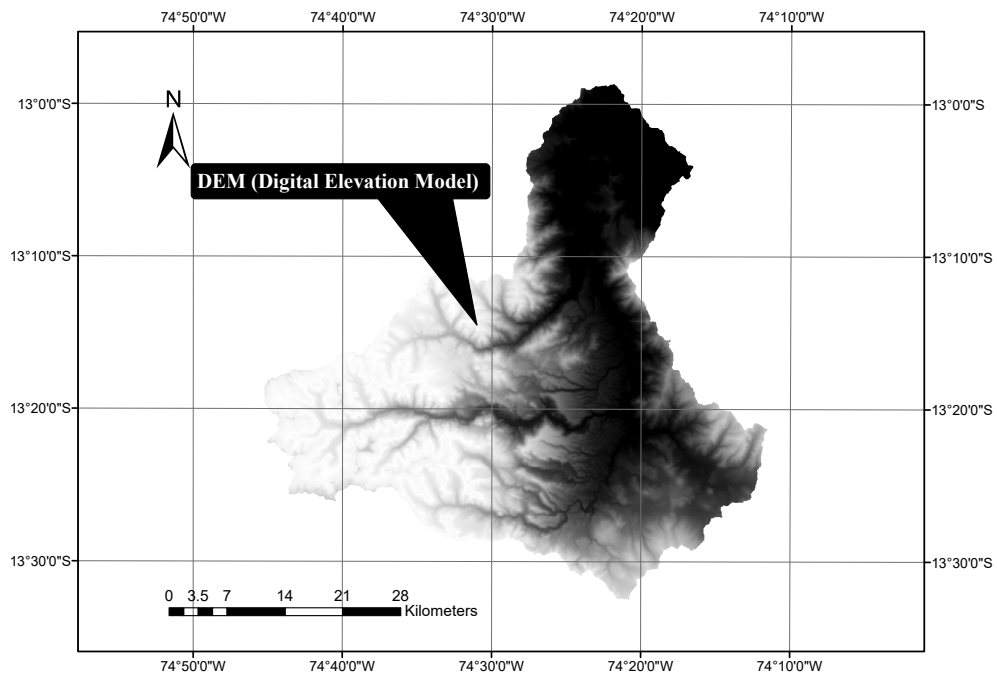
Fuente: Jaafar et al. (2019)

Donde el grupo **A** son suelos con alta capacidad de infiltración, el grupo **B** son suelos con una capacidad de infiltración moderada, el grupo **C** son suelos con una capacidad de infiltración baja y el grupo **D** son suelos con una capacidad de infiltración muy baja.

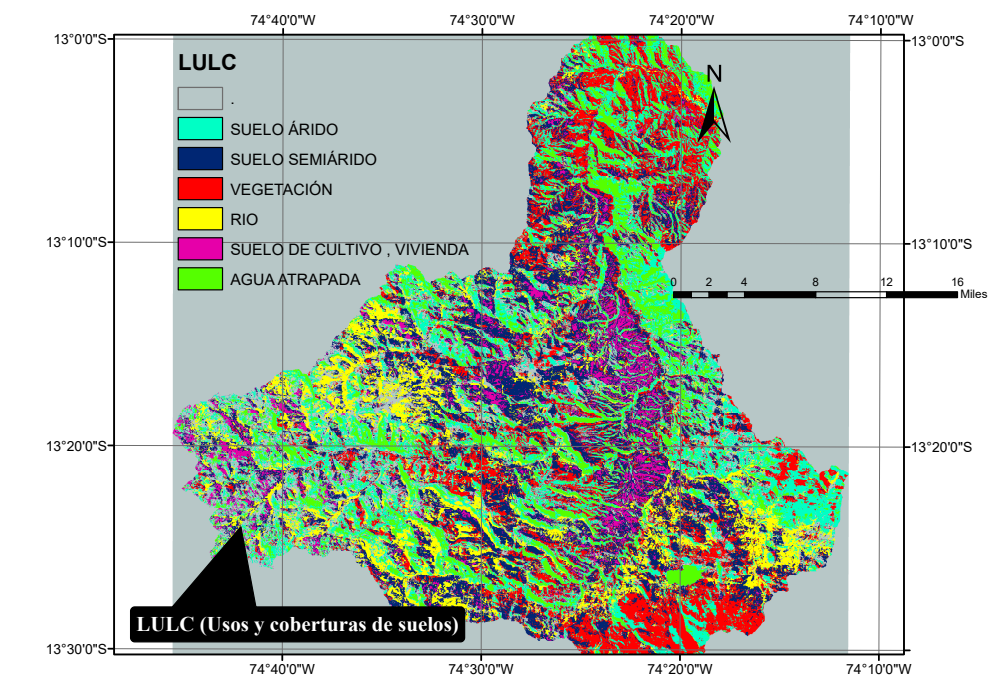
Una vez ingresado los datos el Programa nos calcula el número de curvas para cada una de las 3 subcuencas, donde obtenemos el promedio del número de curvas que representa a toda la cuenca, este dato es importante para el ingreso al programa HEC HMS para el cálculo de caudal de salida .

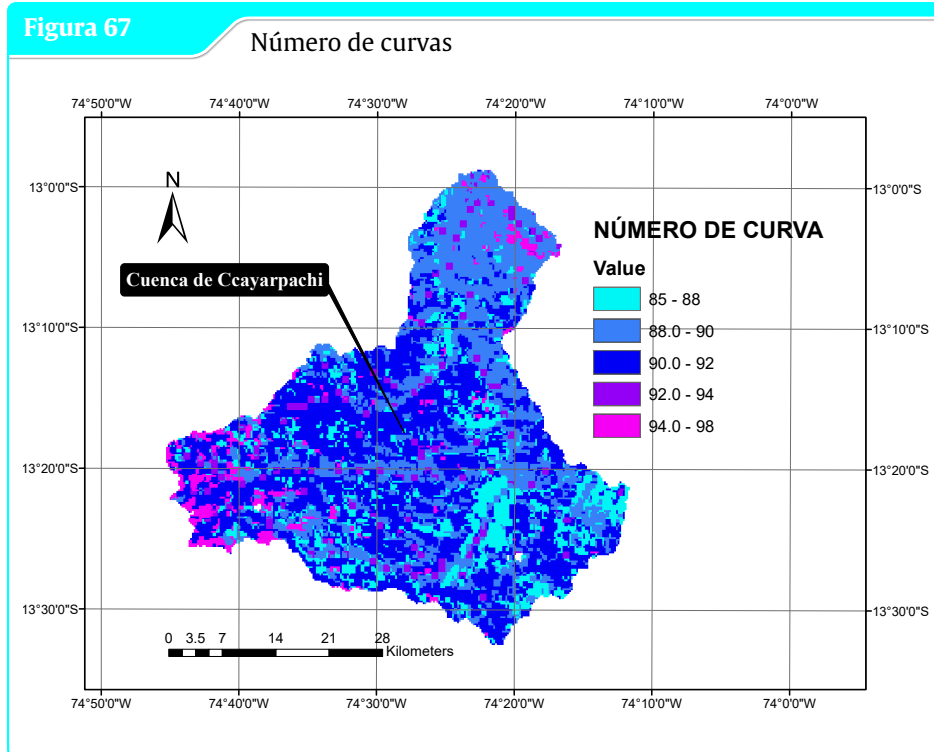
Figura 65

Formato DEM para elaboración de número de curva

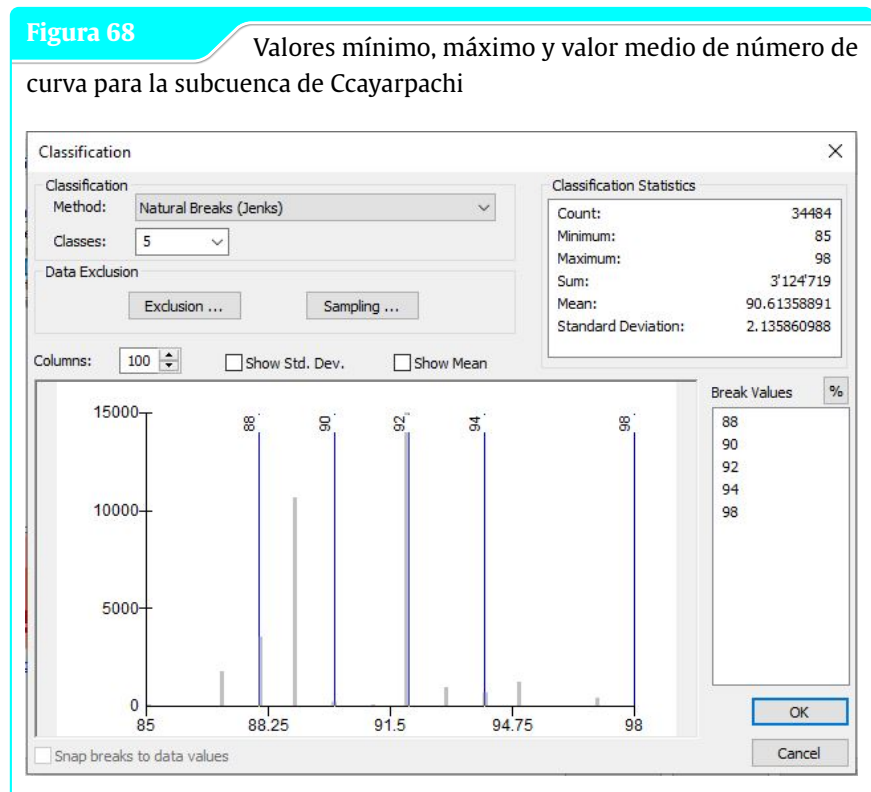
**Fuente:** Elaboración propia con ArcMap**Figura 66**

Usos y Coberturas de suelos

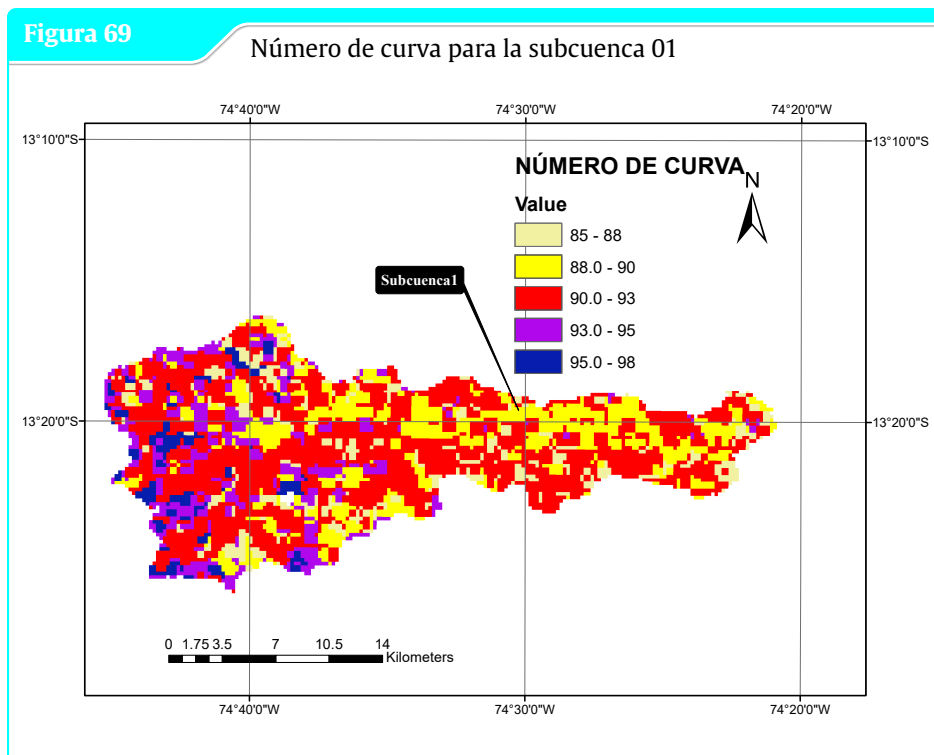
**Fuente:** Elaboración propia con ArcMap



Fuente: Elaboración propia con ArcMap

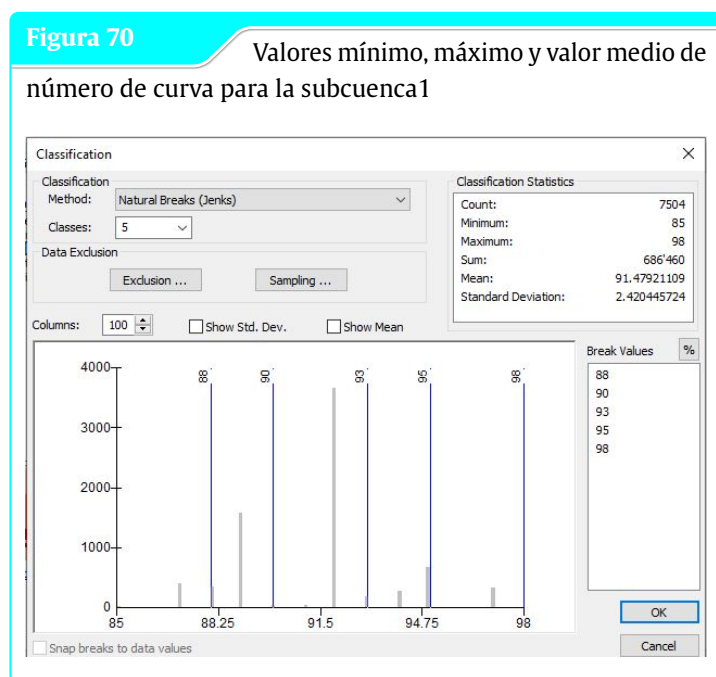


Fuente: Elaboración propia con ArcMap

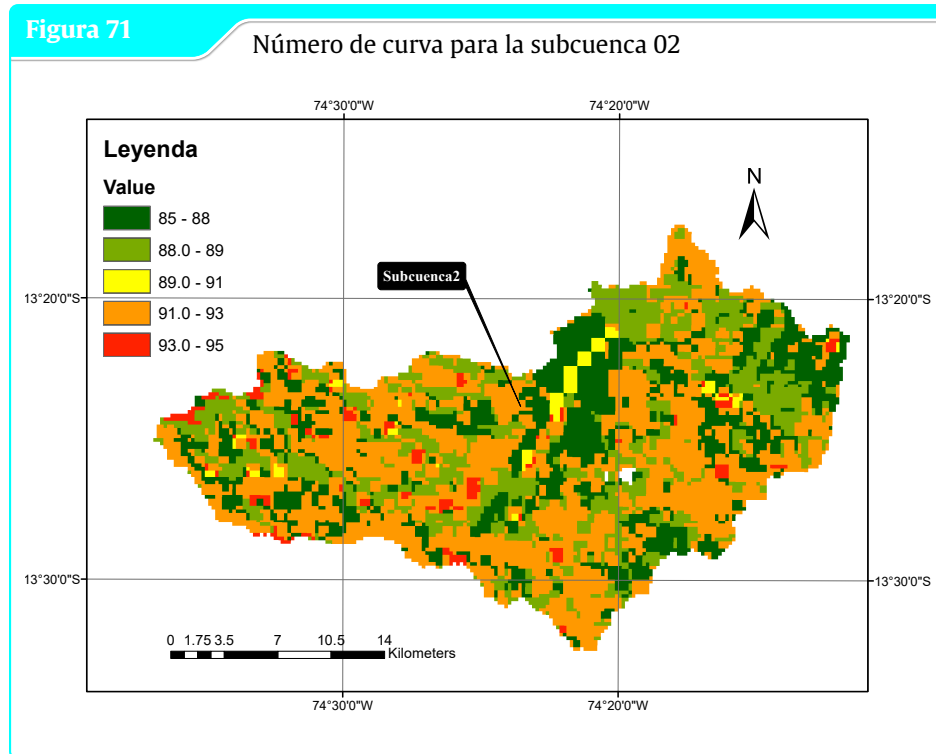


Fuente: Elaboración propia con ArcMap

Como se puede apreciar en la figura N°70 el valor del número de curva promedio es de CN=92, que representa altamente impermeable por lo que las pérdidas de infiltración y evapotranspiración son mínimas lo que simbololiza que tenemos un 90% de precipitación efectiva del total de la precipitación.

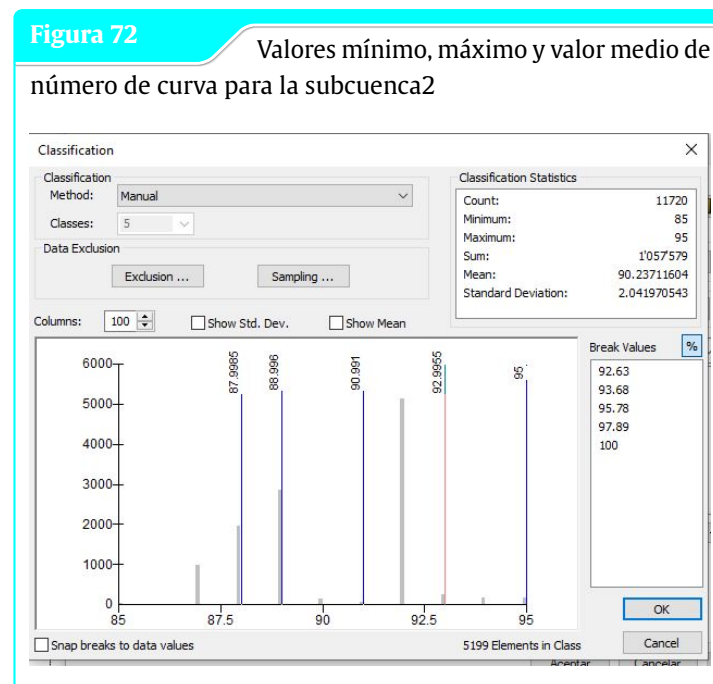


Fuente: Elaboración propia con ArcMap

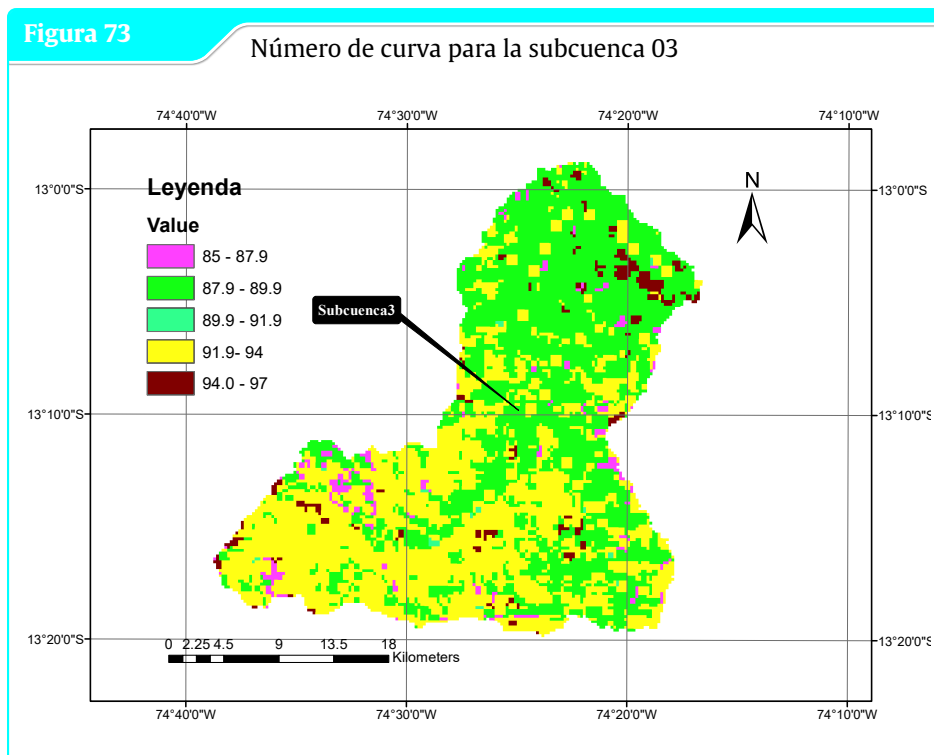


Fuente: Elaboración propia con ArcMap

Como se puede apreciar en la figura N°72 el valor del número de curva promedio es de CN=90, que representa altamente impermeable por lo que las pérdidas de infiltración y evapotranspiración son mínimas lo que simboliza que tenemos un 90% de precipitación efectiva del total de la precipitación.

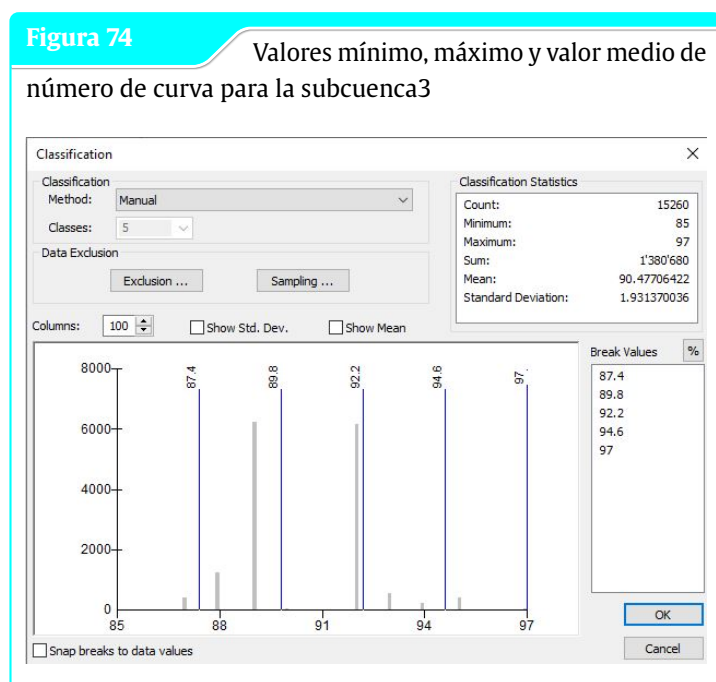


Fuente: Elaboración propia con ArcMap



Fuente: Elaboración propia con ArcMap

Como se puede apreciar en la figura N°74 el valor del número de curva promedio es de CN=90, que representa altamente impermeable por lo que las pérdidas de infiltración y evapotranspiración son mínimas lo que simboliza que tenemos un 90% de precipitación efectiva del total de la precipitación.



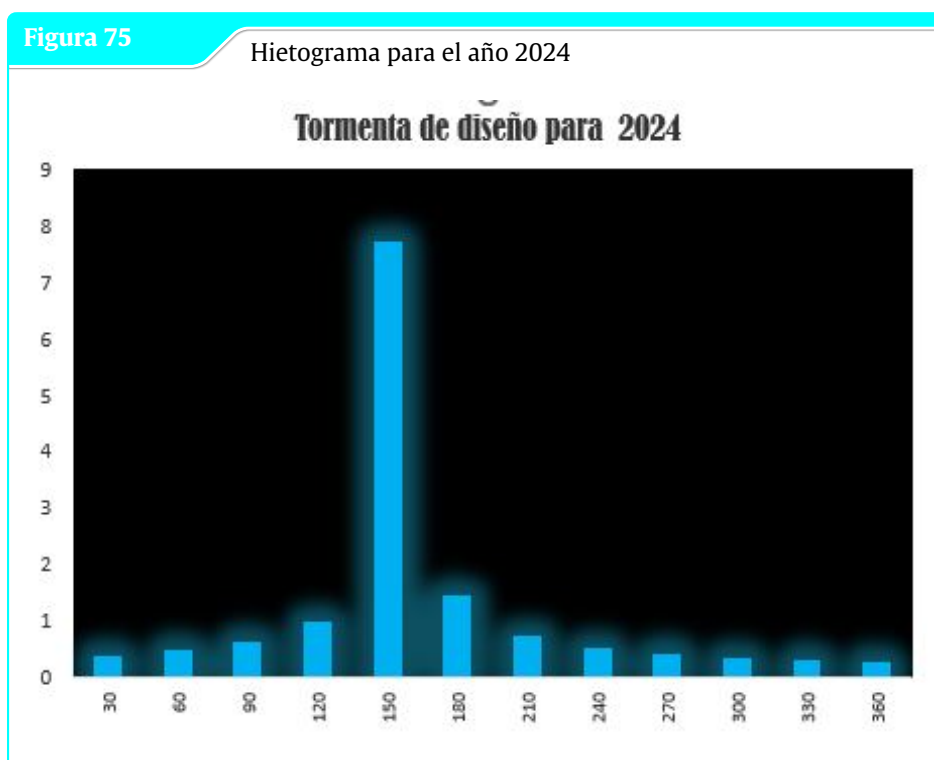
Fuente: Elaboración propia con ArcMap

3.9.10 Calibración del modelo para el caudal de diseño actual

Calculamos el caudal de diseño mediante modelamiento hidrológico con HEC-HMS para la calibración del caudal del río para el año vigente 2024, para validar el caudal de diseño y para luego proyectarlo para un tiempo de retorno TR= 100 años para un caudal de máxima avenidas.

3.9.10.1 Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°01

El hietograma de diseño es obtenido mediante el método de bloques alternos de las curvas IDF para el año 2024.



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

Los hietograma de diseños son obtenidos de la tabla N°22 por el método de los bloques alternos como se aprecia los valores para las diferentes duraciones a partir de las curvas de IDF.

Tabla 22: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

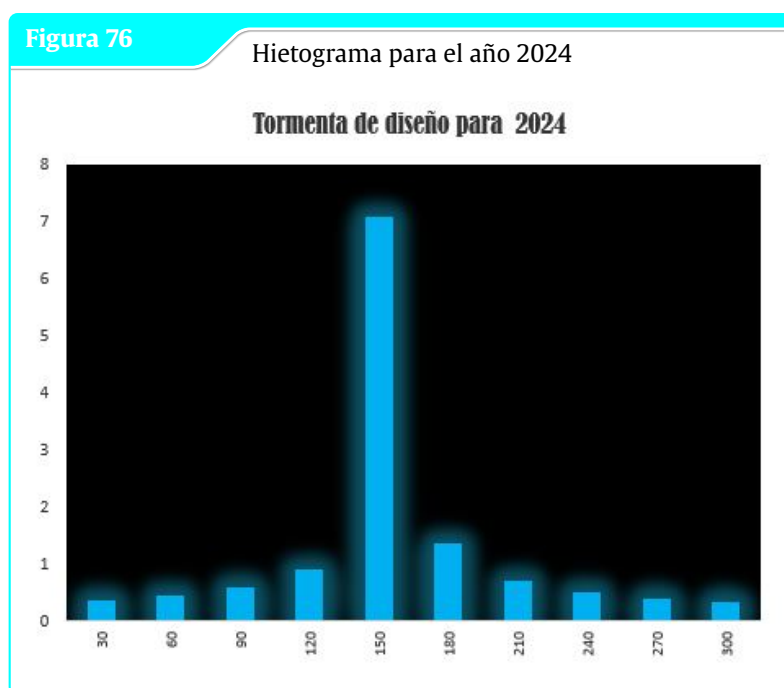
Durac. (min)	Int. (mm/h)	P.acum (mm)	ΔP (mm)	Parcial(mm/h)	P. Alt. (mm)	Acum.(mm)
30	15.42	7.71	7.71	15.42	0.38	0.77
60	9.17	9.17	1.45	2.91	0.47	0.94
90	6.76	10.14	0.97	1.95	0.62	1.25
120	5.45	10.90	0.75	1.51	0.97	1.95

150	4.61	11.53	0.62	1.25	7.71	15.42
180	4.02	12.06	0.53	1.07	1.45	2.91
210	3.58	12.54	0.47	0.94	0.75	1.51
240	3.24	12.96	0.42	0.85	0.53	1.07
270	2.96	13.35	0.38	0.77	0.42	0.85
300	2.74	13.71	0.35	0.71	0.35	0.71
330	2.55	14.04	0.33	0.66	0.30	0.61
360	2.39	14.35	0.30	0.61	0.27	0.54

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

3.9.10.2 Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°02

El hietograma de diseño es obtenido mediante el método de bloques alternos de las curvas IDF para el año 2024.



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

Los hietogramas de diseños son obtenidos de la tabla N°23 por el método de los bloques alternos como se aprecia los valores para las diferentes duraciones a partir de las curvas de IDF.

Tabla 23: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

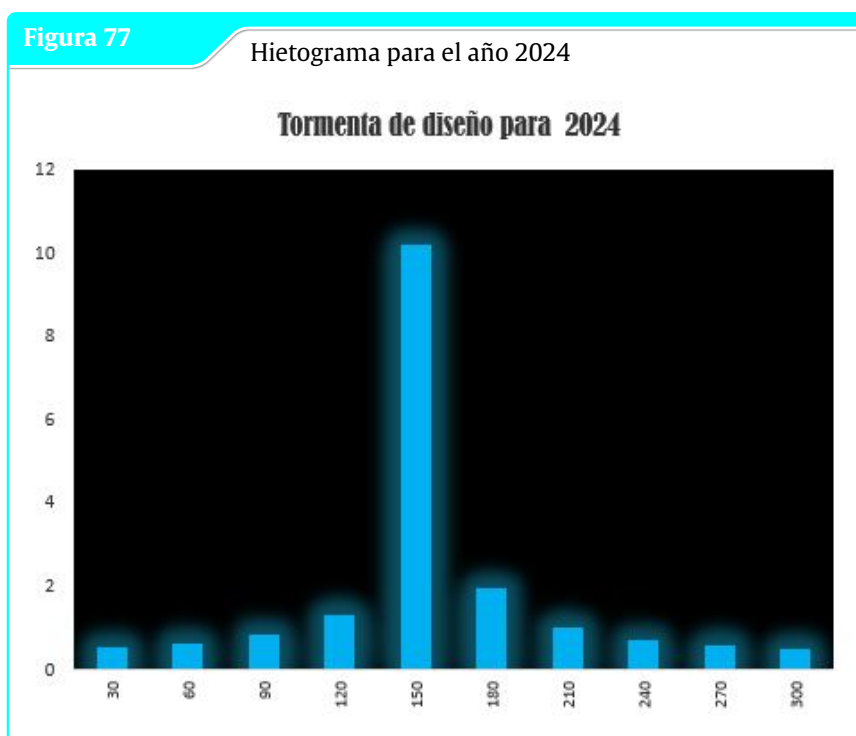
Durac. (min)	Int. (mm/h)	P.acum (mm)	ΔP (mm)	Parcial(mm/h)	P. Alt. (mm)	Acum. (mm)
30	14.12	7.06	7.06	14.12	0.35	0.71

60	8.40	8.40	1.33	2.67	0.43	0.86
90	6.19	9.29	0.89	1.79	0.57	1.14
120	4.99	9.99	0.69	1.38	0.89	1.79
150	4.22	10.56	0.57	1.14	7.06	14.12
180	3.68	11.05	0.49	0.98	1.33	2.67
210	3.28	11.49	0.43	0.86	0.69	1.38
240	2.97	11.8	0.39	0.78	0.49	0.98
270	2.71	12.23	0.35	0.71	0.39	0.78
300	2.51	12.56	0.32	0.65	0.327	0.65

Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

3.9.10.3 Hietograma para calibración de caudal para la subcuenca N°03

El hietograma de diseño es obtenido mediante el método de bloques alternos de las curvas IDF para el año 2024.



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

Los hietogramas de diseños son obtenidos de la tabla N°24 por el método de los bloques alternos como se aprecia los valores para las diferentes duraciones a partir de las curvas de IDF.

Tabla 24: Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Durac. (min)	Int. (mm/h)	P.acum (mm)	ΔP (mm)	Int. parcial (mm/h)	P. Alt. (mm)	Acum. (mm)
30	20.36	10.18	10.18	20.36	0.512	1.02
60	12.10	12.10	1.92	3.85	0.62	1.25
90	8.93	13.39	1.29	2.58	0.82	1.65
120	7.19	14.39	0.99	1.99	1.29	2.58
150	6.08	15.22	0.82	1.65	10.18	20.36
180	5.31	15.93	0.71	1.42	1.92	3.85
210	4.73	16.55	0.62	1.25	0.99	1.99
240	4.28	17.12	0.56	1.12	0.71	1.42
270	3.91	17.63	0.51	1.02	0.56	1.12
300	3.62	18.10	0.47	0.94	0.47	0.94

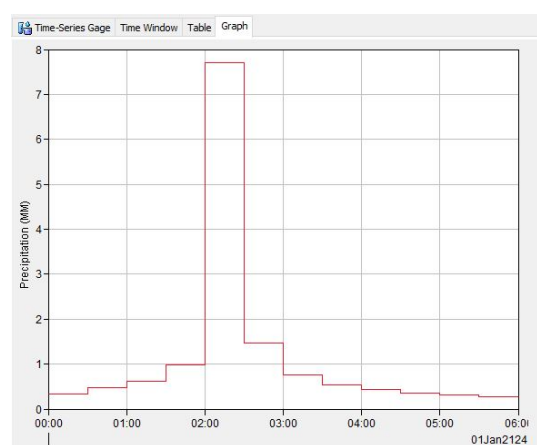
Fuente: Elaboración Propia con IDF - TORMENTA V.4.0.1

3.9.10.4 Ingreso de datos al HEC-HMS para calcular el caudal actual

Luego de la obtención del hietograma de diseño se carga en el programa HEC-HMS como se muestra en la figura N°78 donde cargamos el hietograma para una duración aproximadamente de 300 minutos al tiempo de retraso equivalente al 60 % del tiempo de concentración para el modelamiento hidrológico de la subcuenca para la obtención del caudal e hidrograma de diseño.

Figura 78

Hietograma para la validación del caudal en la subcuenca1



Fuente: Elaboración Propia con HEC-HMS

Figura 79

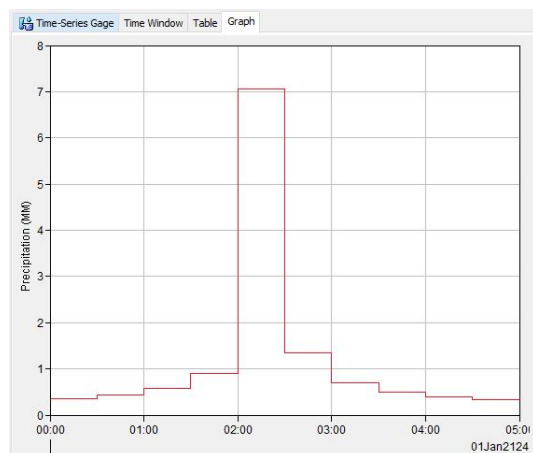
Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2024, 00:00	
01ene.2024, 00:30	0.338
01ene.2024, 01:00	0.474
01ene.2024, 01:30	0.626
01ene.2024, 02:00	0.978
01ene.2024, 02:30	7.711
01ene.2024, 03:00	1.459
01ene.2024, 03:30	0.757
01ene.2024, 04:00	0.538
01ene.2024, 04:30	0.426
01ene.2024, 05:00	0.356
01ene.2024, 05:30	0.309
01ene.2024, 06:00	0.274

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Figura 80

Hietograma para la validación del caudal en la subcuena2



Fuente: Elaboración Propia con HEC-HMS

Figura 81

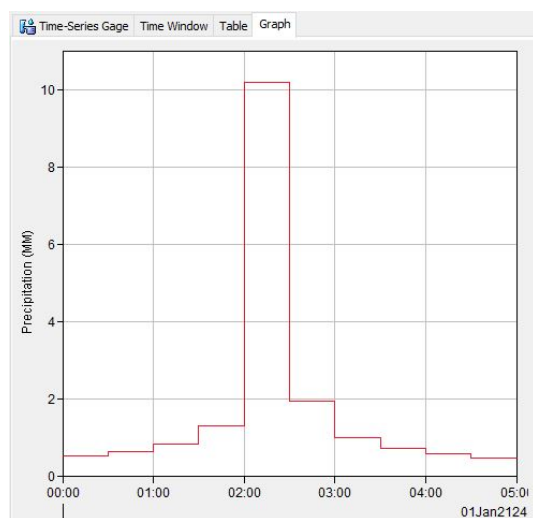
Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS

Components Compute Results	
Time-Series Gage Time Window Table Graph	
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2024, 00:00	
01ene.2024, 00:30	0.355
01ene.2024, 01:00	0.434
01ene.2024, 01:30	0.573
01ene.2024, 02:00	0.896
01ene.2024, 02:30	7.064
01ene.2024, 03:00	1.337
01ene.2024, 03:30	0.693
01ene.2024, 04:00	0.493
01ene.2024, 04:30	0.390
01ene.2024, 05:00	0.327

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Figura 82

Hietograma para la validación del caudal en la subcuena3



Fuente: Elaboración Propia con HEC-HMS

Figura 83

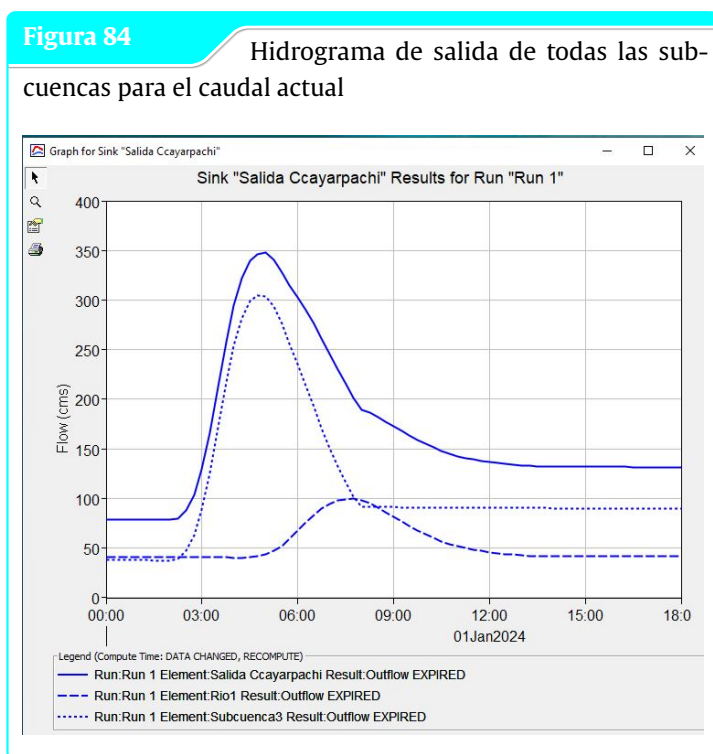
Valores del Hietograma cargados al HEC-HMS

Time-Series Gage Time Window Table Graph	
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2024, 00:00	
01ene.2024, 00:30	0.512
01ene.2024, 01:00	0.626
01ene.2024, 01:30	0.826
01ene.2024, 02:00	1.292
01ene.2024, 02:30	7.300
01ene.2024, 03:00	1.926
01ene.2024, 03:30	0.999
01ene.2024, 04:00	0.710
01ene.2024, 04:30	0.562
01ene.2024, 05:00	0.471

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

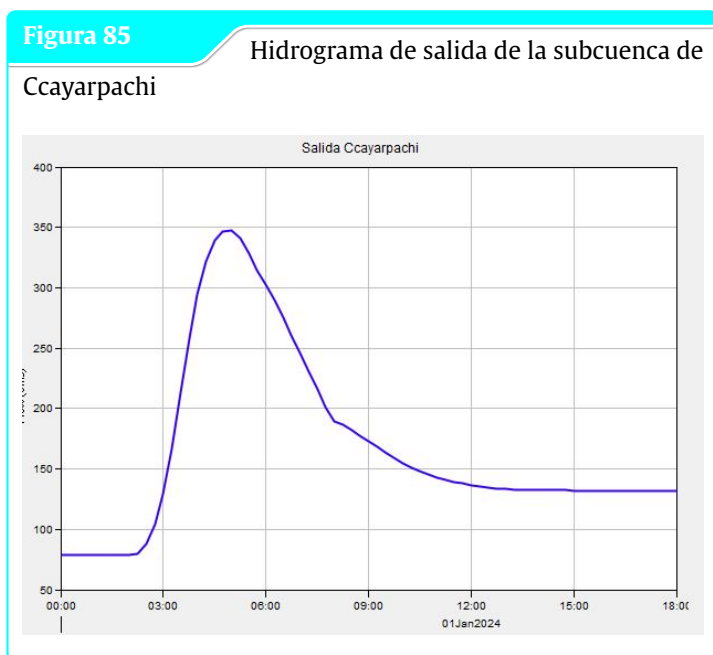
3.9.10.5 Caudal actual de salida en HEC-HMS

En la imagen se muestra el caudal de salida de las 3 subcuencas.



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

En la figura N°85 se muestra el caudal pico aproximadamente de $347.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en la cuenca de Ccayarpachi, por lo tanto se trabajará con esos resultados para realizar la validación del caudal.



Fuente: Elaboración Propia con IDF-Tormenta V-4.01

Tabla 25: Validación de caudal mediante modelo hidrológico

Fecha	tiempo	Salida del Río1	Salida de la cuenca 3	Caudal total (m3/s)
01ene.2024	00:00	40.7	37.9	78.6
01ene.2024	00:15	40.7	37.9	78.6
01ene.2024	00:30	40.7	37.9	78.6
01ene.2024	00:45	40.7	37.8	78.5
01ene.2024	01:00	40.7	37.8	78.5
01ene.2024	01:15	40.7	37.8	78.5
01ene.2024	01:30	40.7	37.8	78.5
01ene.2024	01:45	40.7	37.8	78.5
01ene.2024	02:00	40.7	37.7	78.4
01ene.2024	02:15	40.7	39.2	79.9
01ene.2024	02:30	40.7	47.1	87.7
01ene.2024	02:45	40.7	63.4	104
01ene.2024	03:00	40.6	88.8	129.5
01ene.2024	03:15	40.6	126.2	166.8
01ene.2024	03:30	40.6	172.2	212.8
01ene.2024	03:45	40.6	216.9	257.5
01ene.2024	04:00	40.5	254.3	294.9
01ene.2024	04:15	40.5	281.5	322
01ene.2024	04:30	40.6	298.9	339.5
01ene.2024	04:45	41.5	305	346.5
01ene.2024	05:00	43.7	303.8	347.5
01ene.2024	05:15	47.1	293.7	340.9
01ene.2024	05:30	52.2	275.9	328.1
01ene.2024	05:45	59.2	255.6	314.9
01ene.2024	06:00	67.6	235.1	302.7
01ene.2024	06:15	76	213.4	289.5
01ene.2024	06:30	83.7	192	275.7
01ene.2024	06:45	89.9	171	260.8
01ene.2024	07:00	94.7	150.8	245.6
01ene.2024	07:15	97.9	132.3	230.2
01ene.2024	07:30	99.4	116	215.5
01ene.2024	07:45	99.6	101.8	201.4
01ene.2024	08:00	98.1	91.5	189.6

01ene.2024	08:15	94.9	91.4	186.4
01ene.2024	08:30	90.9	91.4	182.2
01ene.2024	08:45	86.4	91.3	177.7
01ene.2024	09:00	81.6	91.3	172.9

Fuente: Elaboración Propia

3.9.11 Validación de caudal del río Cachi (método de correntómetro)

Determinamos el caudal que pasa por cada una de la subsección en que se divide la sección transversal, como se muestra en la Figura N°86 de como calcular las velocidades con el correntómetro y así calcular el caudal, La sección transversal del río para el aforo se divide en 20 subsecciones, con el número de subsecciones determinado por el caudal estimado que fluye por la sección. En cada subsección, el caudal no debe superar el 10% del caudal total estimado para la sección. En ríos grandes, el número de subsecciones no debe ser menor de 20. El ancho superior de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es el resultado de dividir el ancho superior de la sección entre el número de subsecciones calculadas.

En los límites de cada tramo del ancho del cauce, se trazan verticales que se extienden hasta el lecho del río. La profundidad de cada vertical se mide con una varilla del correntómetro graduada. Las verticales se trazan al mismo tiempo que se miden las velocidades. Con el correntómetro, se mide la velocidad a dos profundidades en cada vertical, por ejemplo, a 0.2 y 0.8 de la profundidad total. A partir de estas medidas, se calcula la velocidad del agua a cada profundidad utilizando la fórmula adecuada. La velocidad promedio del agua en cada subsección vertical se obtiene a partir del número de revoluciones por segundo del correntómetro. El área de cada subsección se calcula considerando un paralelogramo, donde la base es el ancho del tramo y la altura es el promedio de las profundidades de la subsección. El caudal de agua en una subsección se determina multiplicando su área por la velocidad media registrada. El caudal total del río es la suma de los caudales de todas las subsecciones.

Figura 86

Aforo en el río Cachi

**Fuente:** Elaboración Propia

3.9.11.1 Materiales a utilizar

Cuerda :

La cuerda se emplea para delimitar el tramo del río donde se llevará a cabo el aforo.

Cinta métrica :

Esto permite medir la distancia entre los límites del tramo a medir.

Flexómetro :

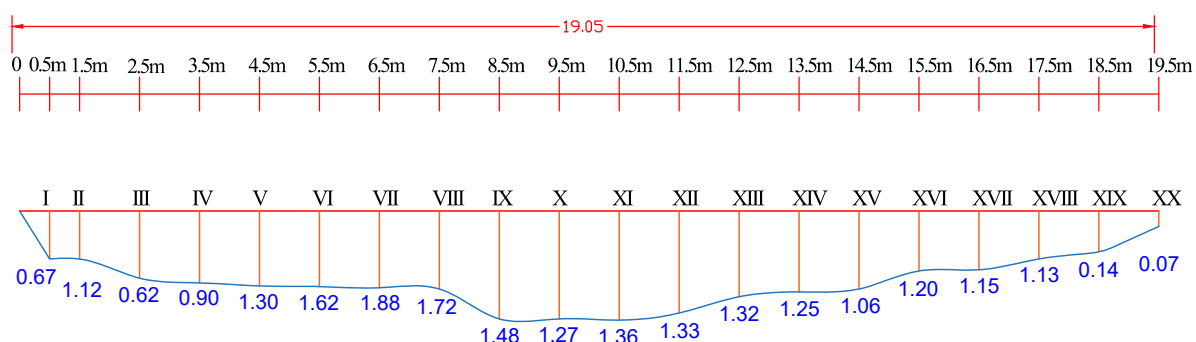
El flexómetro, una cinta métrica de menos de 8 metros, facilita la división de la cuerda en segmentos más pequeños, como 1 m o 0.5 m, según lo determine el encargado.

Correntómetro OTT MF Pro (FH950) :

El correntómetro es un dispositivo de medición de corriente electromagnético equipado con un sensor de velocidad y un cable de 2 m (112-165), diseñado para medir la velocidad en corrientes marinas, ríos, arroyos, estuarios, puertos y modelos físicos en laboratorio. Algunos modelos también registran la dirección, profundidad, inclinación respecto a la vertical, temperatura del agua, presión y conductividad. Los datos pueden ser registrados en papel, cinta magnética o memoria de estado sólido.

3.9.11.2 Cálculo de caudal

Para el cálculo del caudal utilizaremos el método del correntómetro con bastón de caudales para el cálculo de área utilizaremos los tirantes de cada progresiva para determinar el área utilizando el programa de AutoCAD, mediremos la velocidad a cierta profundidad con el correntómetro para obtener la velocidad promedio, finalmente se multiplicará el área de las secciones del río por la velocidad obteniendo el caudal del río.

Figura 87**Sección del río Cachi**

Fuente: Elaboración Propia Civil 3D

Tabla 26: Validación de caudal utilizando correntómetro

Punto	Progresiva	Área (m2)	Profundidad	Velocidad medido (m/s)	Caudal de aforo (m3/s)
1	0.50	0.73	0.67	4.66	3.40
2	1.50	1.18	1.12	5.84	6.90
3	2.50	1.73	0.62	5.36	9.29
4	3.50	1.90	0.90	6.32	12.02
5	4.50	2.07	1.30	7.20	14.91
6	5.50	2.20	1.62	7.36	16.19
7	6.50	2.38	1.88	7.97	18.97
8	7.50	3.14	1.72	8.05	25.24
9	8.50	3.90	1.48	9.33	36.42
10	9.50	3.55	1.27	9.41	33.44
11	10.50	3.54	1.36	9.97	35.31
12	11.50	3.63	1.33	7.30	26.52
13	12.50	3.53	1.32	7.21	25.44
14	13.50	2.36	1.25	6.72	15.82
15	14.50	2.25	1.06	6.44	14.51

16	15.50	2.26	1.20	6.42	14.53
17	16.50	2.24	1.15	5.03	11.26
18	17.50	1.21	1.13	4.88	5.91
19	18.50	1.12	0.14	3.98	4.46
20	19.50	0.70	0.07	1.49	1.04

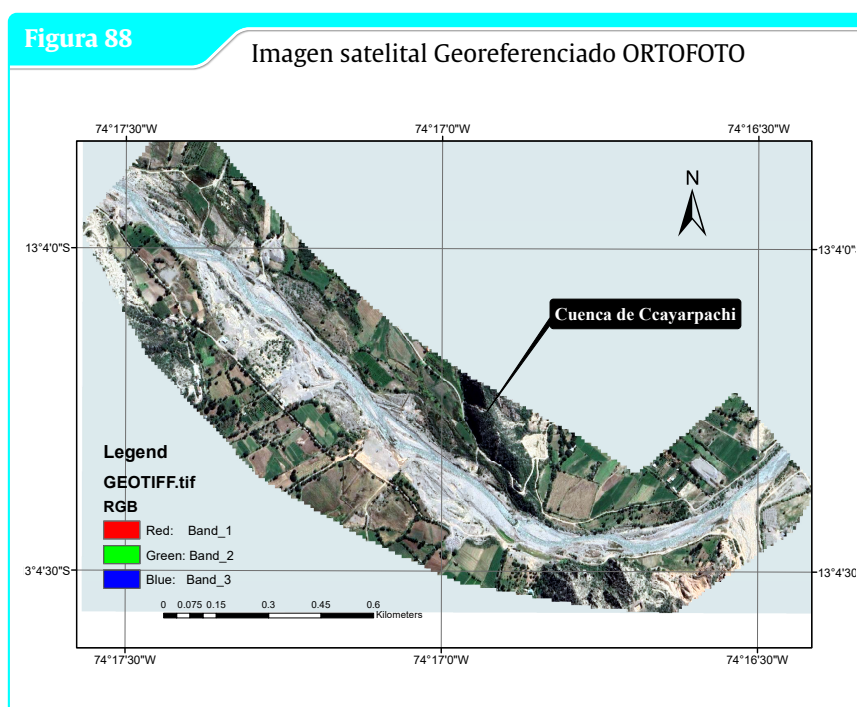
Caudal aforado = 331.70 m³/s

Fuente: Elaboración Propia

La medición del aforo del río Cachi se realizó el 9 de marzo del año 2024, periodo de eventos extremos y tormentas intensas como suele suceder entre los meses de diciembre a marzo de cada año, donde se obtuvo la medición del caudal por el método del correntómetro llegando a medir el valor de $Q=331.70 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal de diseño obtenido a partir del estudio hidrológico utilizando el programa de HEC-HMS se obtuvo de $Q=347.5 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual tiene una precisión de 95.4%, es muy buena que nos permite calcular el caudal para un $TR=100$ años para el modelamiento bidimensional de la inundación, de esta manera se podrá tener mayor confiabilidad para la obtención de los resultados.

3.9.11.3 Creación de la superficie del río para modelamiento hidráulico

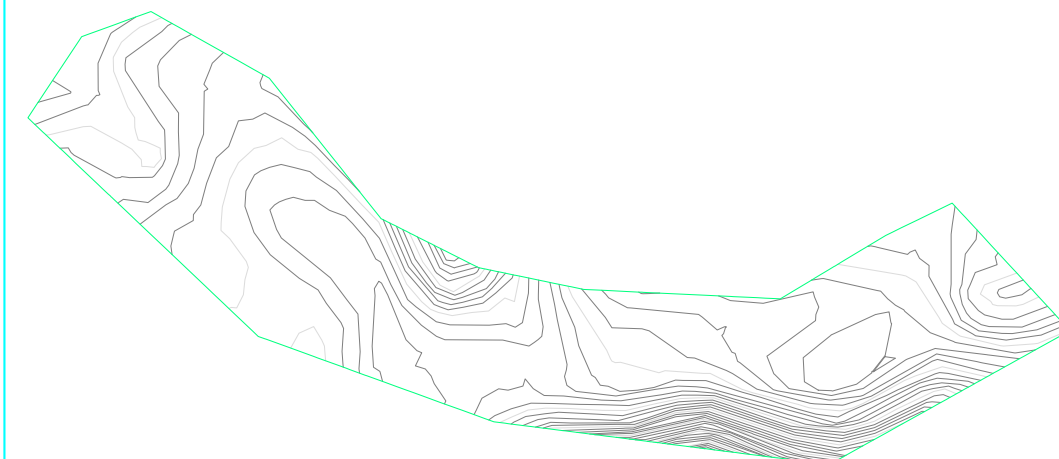
Para la creación de la superficie se hizo el levantamiento topográfico para el modelamiento hidrológico.



Fuente: Elaboración Propia con SASPLANET y Arcgis

Figura 89

Creación de la superficie del río

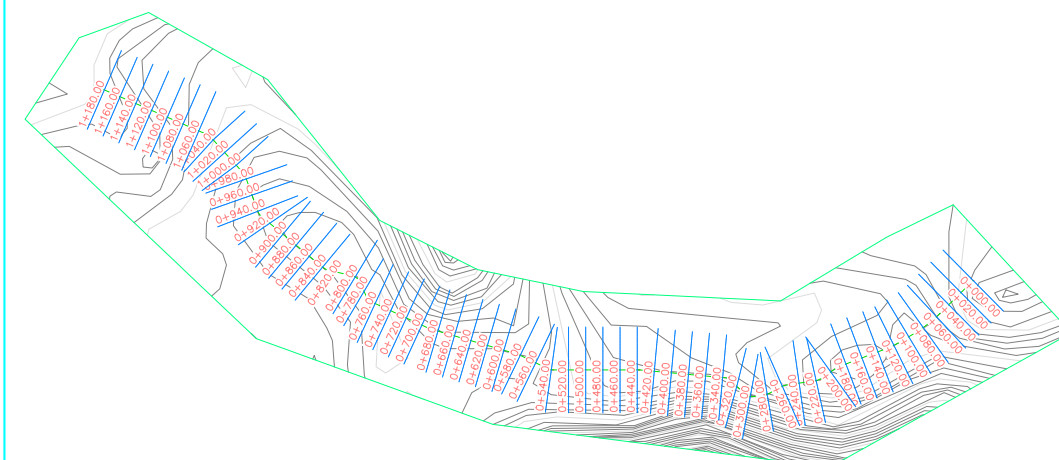
**Fuente:** Elaboración Propia con CIVIL 3D

3.9.11.4 Alineamiento y seccionamiento del río Cachi

Luego del levantamiento topográfico con DRON utilizando el programa de Civil 3D se crea la superficie con las curvas de nivel a 1 y 5 metros para curvas principales y secundarias, generando la superficie del río para el modelamiento con HEC-RAS y las obtenciones de las alturas de agua de cada sección transversal del río, es por ello que se realiza el alineamiento principal del río y el seccionamiento hasta la progresiva 1+170 m a partir de la progresiva cero donde se cuenta las progresivas en la dirección río arriba ya que es el sentido que trabaja el programa HEC-RAS para la obtención de los parámetros hidráulicos.

Figura 90

Alineamiento y seccionamiento del tramo de interés del río Cachi

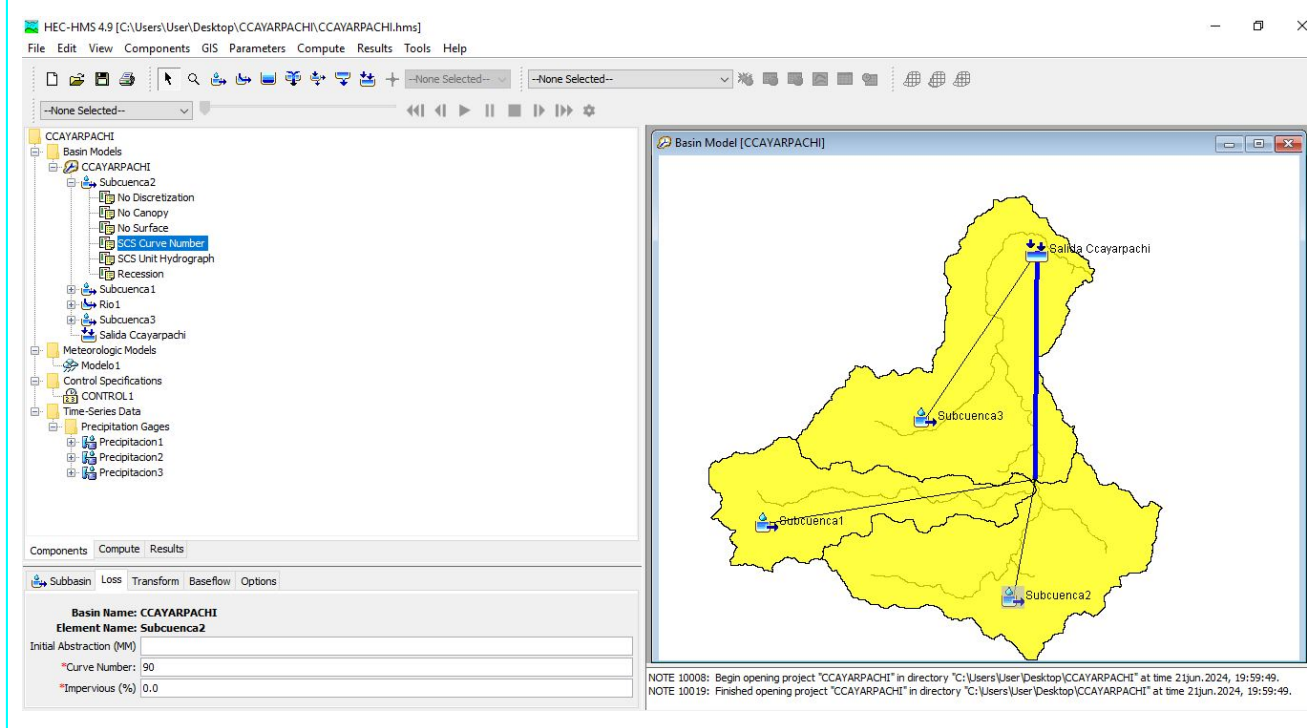
**Fuente:** Elaboración Propia con CIVIL 3D

3.9.12 Modelamiento con HEC HMS para caudal de diseño para TR= 100 años

Para calcular el caudal de diseño, es necesario conocer los parámetros morfométricos para la subcuenca1, subcuenca2 y subcuenca3, como son el tiempo de concentración de cada subcuenca ya que se necesita conocer lag time para el ingreso al HEC HMS, así como el área y el número de curva para la obtención de la precipitación efectiva la que se encargará de transitar por el rio Cachi como se aprecia en la Figura N°91 y 92 para el modelamiento hidrológico y cálculo del caudal de diseño, donde independientemente tendremos que obtener los datos de precipitación para cada sub cuenca, el número de curva igualmente y de infiltración son abstracciones iniciales que nos pide el programa, utilizamos el método SCS para calcular la precipitación efectiva, el caudal de salida que necesita transitar la cuenca Figura N°92 para ello hacemos la suma de los caudales de las 3 subcuencas, también se puede observar el ingreso del Hietograma de diseño, una vez calculado el hietograma por método de bloques alternos ingresamos al programa HEC-HMS.

Figura 91

Ingreso y creación del modelo en HEC-HMS



Fuente: Elaborado Propia con HEC-HMS

Figura 92

Ingreso de datos de la cuenca al HEC-HMS



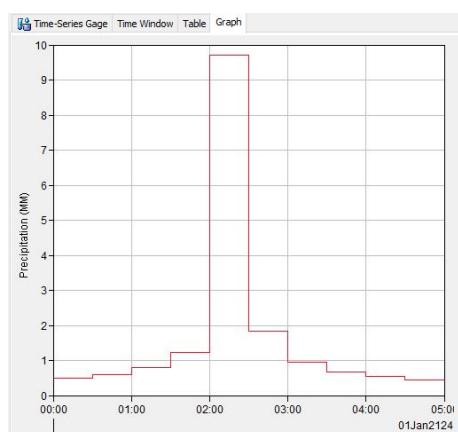
Fuente: Elaborado Propia con HEC-HMS

Para ingresar los datos al HEC-HMS se ha cargado la cuenca y los datos en los componentes del programa observamos el esquema de trabajo para la creación de un modelo donde ingresamos todos los parámetros al modelo como el lag time que viene hacer el 0.6 del tiempo de concentración, donde configuraremos el método SCS-CN para el ingreso del número de curva de todas las subcuencas utilizaremos hidrogramas unitarios para el cálculo del caudal y la descarga del tránsito de avenida o flujo de descarga se configura el Muskingum, para introducir los datos pluviométricos se creará el times series Data manager para ingresar los hietogramas y finalmente para el control del modelamiento se creará control specification para el cálculo del Hidrograma.

3.9.12.1 Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca1

Figura 93

Hietograma para la subcuenca1



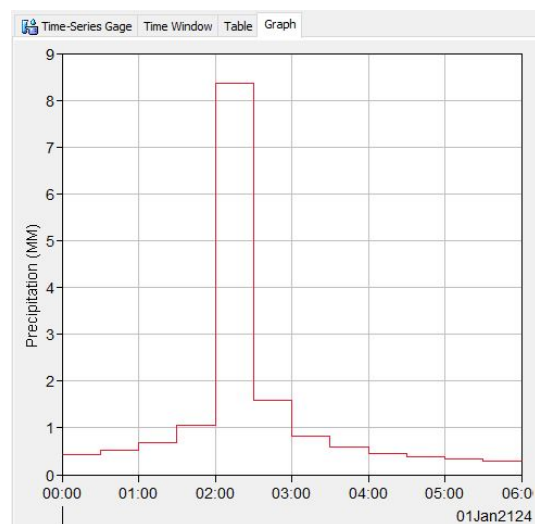
Fuente: Elaboración Propia con HEC-HMS

Figura 94

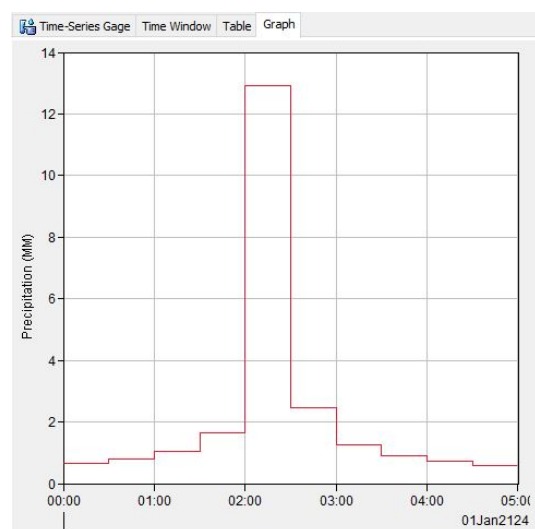
Valores del hietograma cargados al HEC-HMS

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2124, 00:00	
01ene.2124, 00:30	0.488
01ene.2124, 01:00	0.597
01ene.2124, 01:30	0.788
01ene.2124, 02:00	1.232
01ene.2124, 02:30	9.708
01ene.2124, 03:00	1.837
01ene.2124, 03:30	0.953
01ene.2124, 04:00	0.677
01ene.2124, 04:30	0.536
01ene.2124, 05:00	0.449

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

3.9.12.2 Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca2**Figura 95**Hietograma para la sub-
cuenca2**Fuente:** Elaboracion Propia con HEC-HMS**Figura 96**Valores del hietograma car-
gados al HEC-HMS

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2124, 00:00	
01ene.2124, 00:30	0.420
01ene.2124, 01:00	0.514
01ene.2124, 01:30	0.678
01ene.2124, 02:00	1.060
01ene.2124, 02:30	8.352
01ene.2124, 03:00	1.580
01ene.2124, 03:30	0.820
01ene.2124, 04:00	0.582
01ene.2124, 04:30	0.461
01ene.2124, 05:00	0.386
01ene.2124, 05:30	0.334
01ene.2124, 06:00	0.297

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS**3.9.12.3 Valores cargados al HEC-HMS para la subcuenca3****Figura 97**Hietograma para la sub-
cuenca3**Fuente:** Elaboracion Propia con HEC-HMS**Figura 98**Valores del hietograma car-
gados al HEC-HMS

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene.2124, 00:00	
01ene.2124, 00:30	0.650
01ene.2124, 01:00	0.795
01ene.2124, 01:30	1.049
01ene.2124, 02:00	1.641
01ene.2124, 02:30	12.934
01ene.2124, 03:00	2.447
01ene.2124, 03:30	1.269
01ene.2124, 04:00	0.902
01ene.2124, 04:30	0.714
01ene.2124, 05:00	0.598

Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

3.9.12.4 Ingreso al programa IBER para el modelamiento hidrológico

Para el ingreso de los datos sobre todo del caudal de diseño el que se encargará de caracterizar el modelamiento hidrológico para la obtención de los parámetros hidráulicos, del programa IBER AULA tenemos la siguiente secuencia de ingreso: En Primer lugar se tendrá que crear una imagen ORTOFOTO georreferenciado en formato de imagen JPG o PNG para la visualización de la cuenca para la presente investigación se configuró la Georreferenciación en el programa ARCGIS y luego copiado en la carpeta de trabajo para abrir con el programa IBER AULA, una vez ingresado el ORTOFOTO , se creará la malla o Mesh para la triangulación de las superficie ingresando un DEM obtenido por la USGS Y procesado en el ARCGIS creando un formato ASCII de block de nota para el reconocimiento del DEM en el programa IBER AULA de la cuenca, para la generación de la superficie, como se aprecia la malla en la **Figura N° 100** delimitado en el tramo de análisis para la inundación, luego ingresamos los caudales obtenidos en el programa HEC-HMS delimitando los problemas con la Malla donde apreciamos en la **Figura N°101** a los caudales del hidrograma en función del tiempo para apreciar como el modelamiento se comporta en función al tiempo determinando el caudal pico donde se realizará la inundación para un determinado tiempo de retorno $TR=100$ años , luego en la entrada de hidrodinámica configuramos las condiciones de contorno y las condiciones iniciales para delimitar hasta que parte de la malla se realizará el modelamiento hidráulico, luego ingresamos nuestro polígonos para usos de suelos para la determinación de la rugosidad según el tipo de suelo que se encuentra en la cuenca para la rugosidad de Manning configurando en el IBER AULA, una vez ingresado configuramos el control para el procesamiento de datos en función del tiempo para que finalmente en VIEW en la ventana tenemos como resultado el calado, número de Froude, caudal específico, velocidad y cota del agua. Los cuáles serán interpretados en los resultados para determinar y analizar los objetivos de nuestra investigación.

Figura 99

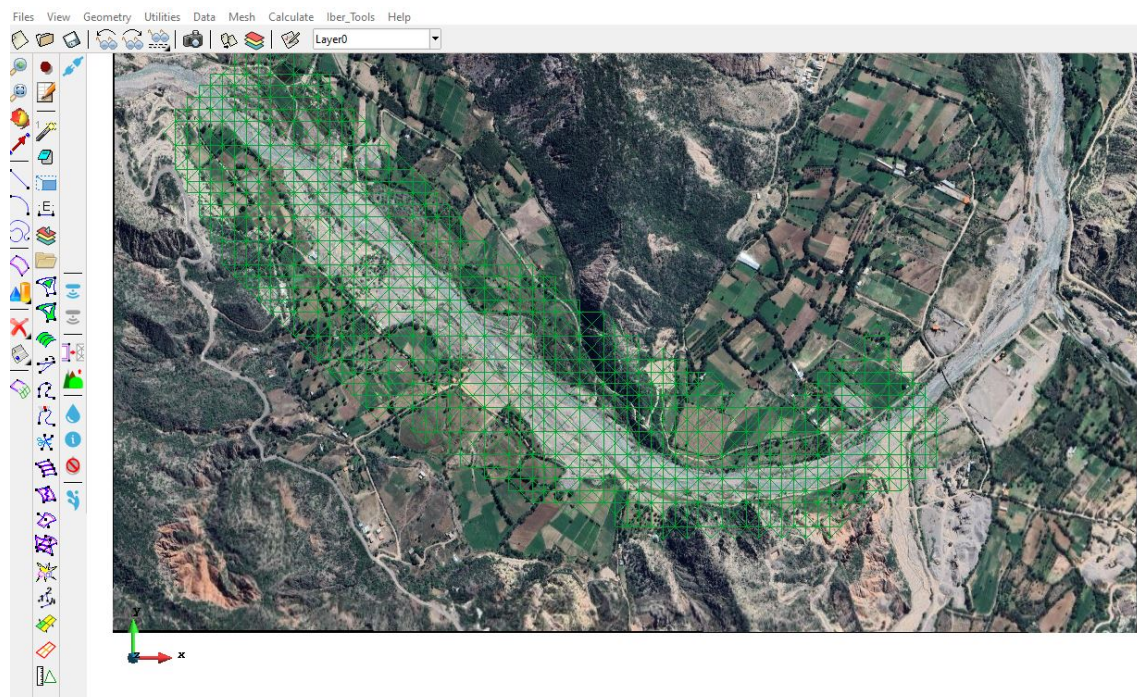
Tramo de interés para modelamiento



Fuente: Elaborado Propia con IBER AULA

Figura 100

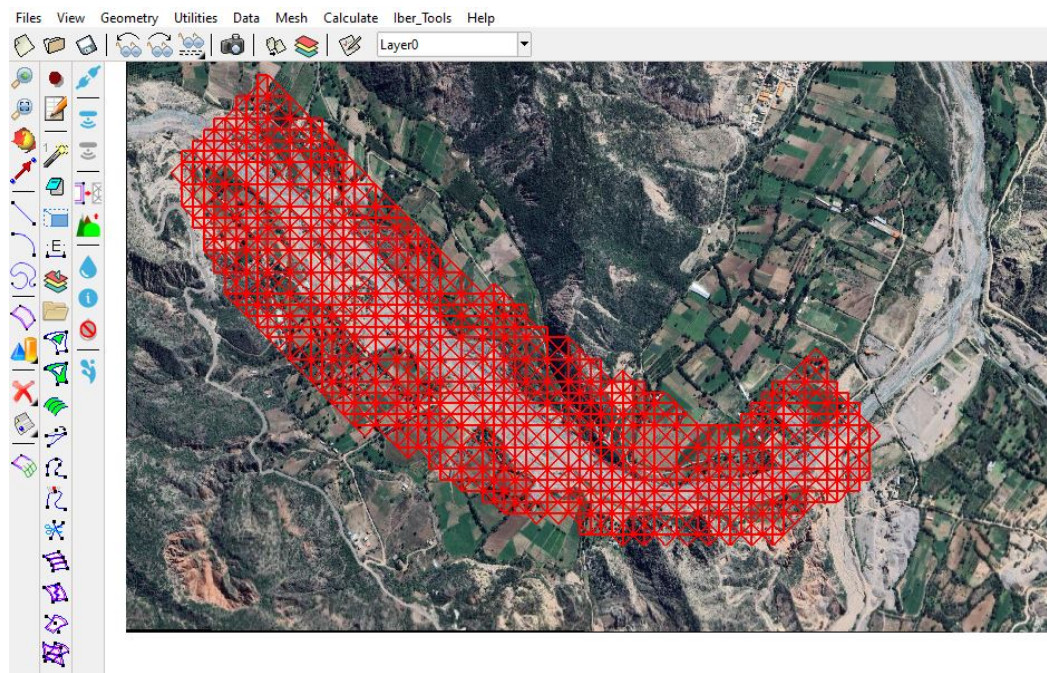
Creación de la malla RTIN para aplicación de volúmenes finitos en el modelo



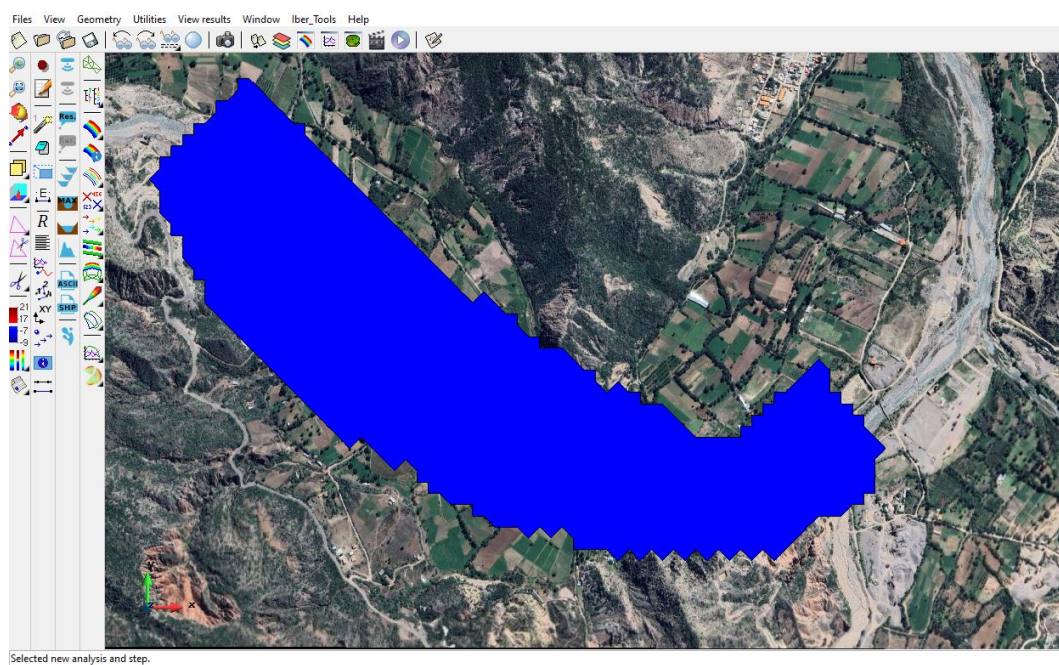
Fuente: Elaborado Propia con IBER AULA

Figura 101

Condiciones de entrada al programa IBER AULA V.3.3.1

**Fuente:** Elaborado Propia con IBER AULA**Figura 102**

IBER AULA procesado para la visualización de resultados

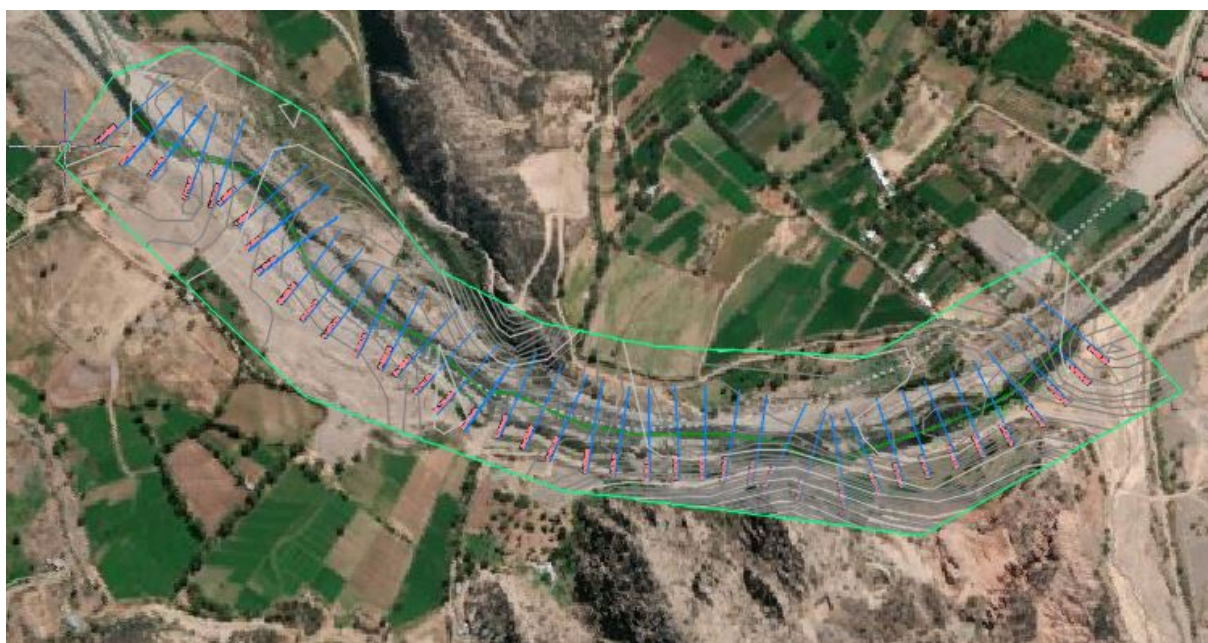
**Fuente:** Elaborado Propia con IBER AULA

3.9.12.5 Ingreso al programa HEC-RAS

Previo al ingreso de los caudales de los Hidrogramas al HEC RAS, primeramente se realiza el levantamiento topográfico del río en el tramo de interés, para determinar las secciones a través del alineamiento y el ancho del río para tener las características de las secciones, luego del procesamiento de los puntos topográficos calculamos las curvas de nivel y determinamos las superficies para la obtención del perfil longitudinal del río y las secciones típicas para cada progresiva utilizando el programa CIVIL 3D de Autodesk exportamos las secciones al HEC-RAS para el modelamiento y la determinación de los parámetros hidráulicos, como se aprecia en la **Figura N° 103** podemos observar las secciones típicas en cada progresiva del río Cachi para el modelamiento, luego ingresamos los caudales del hidrograma calculado, ingresamos el tipo de régimen de fluido, el coeficiente de Manning y de esta manera calculamos las secciones de las alturas de agua en las secciones transversales de cada progresiva, análogamente en los programas anteriores se procesa los datos ingresados para obtener los resultados y los modelamientos de cada progresiva que son para un tiempo de retorno $TR=100$ años para poder determinar las inundaciones mientras más tiempo de retorno mayor probabilidad de generarse inundaciones en el río.

Figura 103

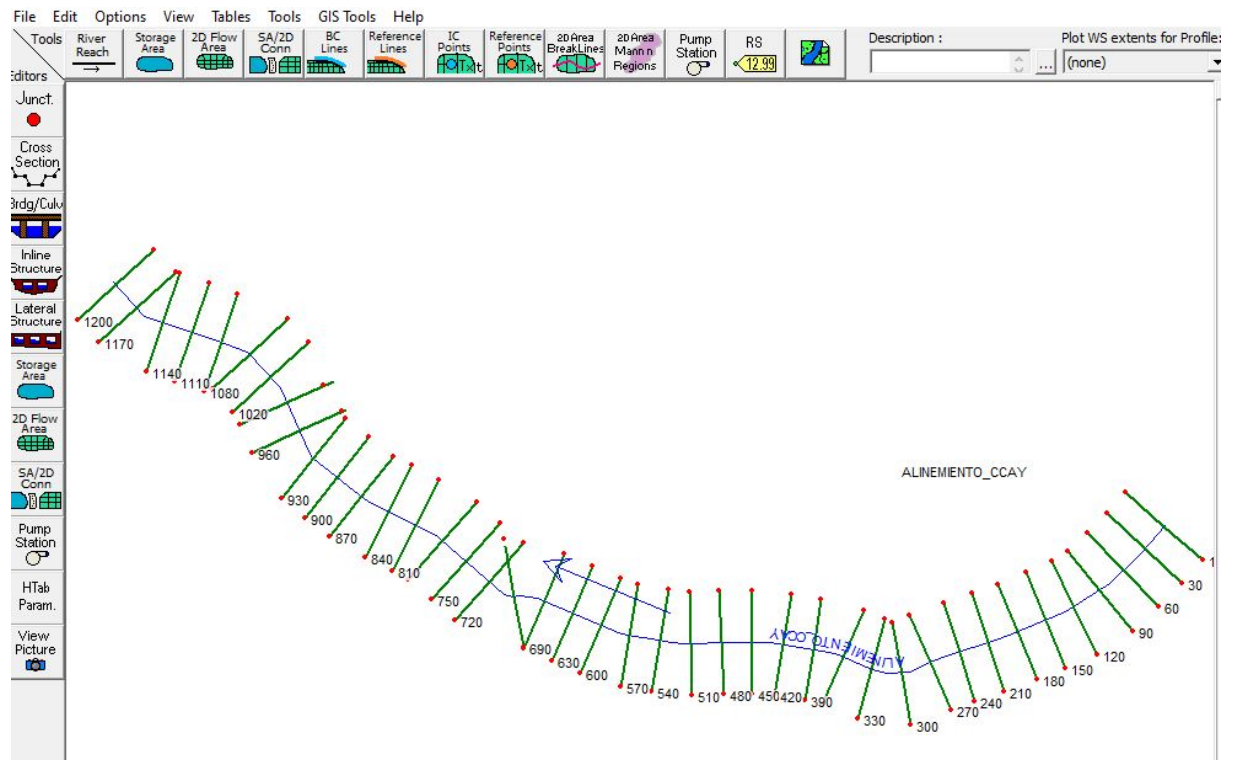
Seccionamiento en Civil 3D para ingreso al HEC-RAS



Fuente: Elaborado Propia con Civil3D

Figura 104

Ingreso del seccionamiento en HEC-RAS



Fuente: Elaborado Propia con HEC-RAS

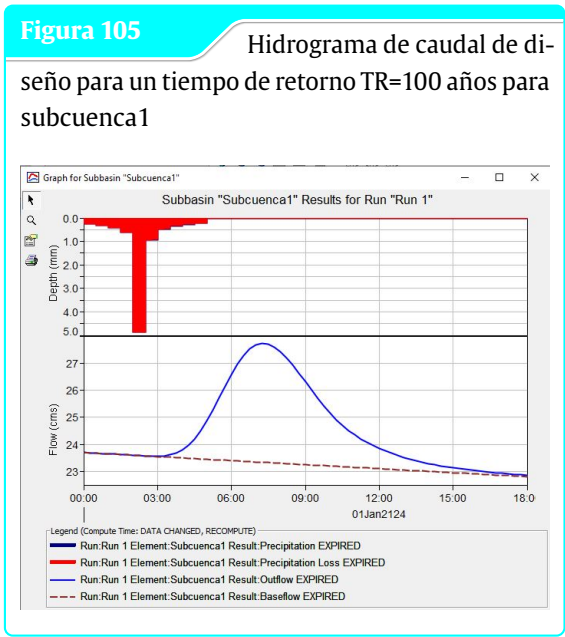
“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”

— David Hume

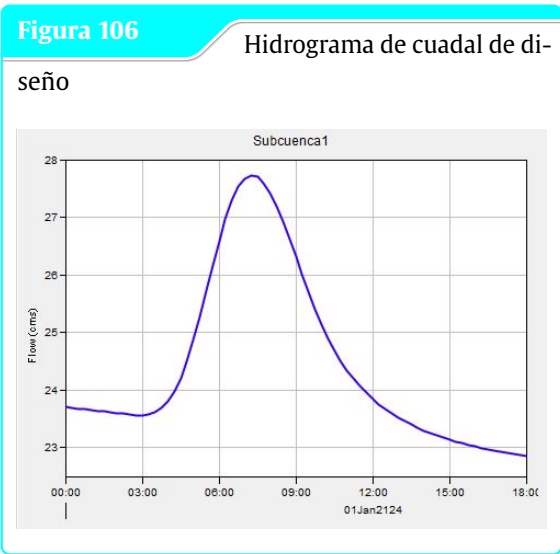
4 Resultados

4.1 Resultados HEC-HMS para la Subcuenca 01

Luego de realizar el procedimiento del ingreso al programa de HEC-HMS, como las precipitaciones generadas en el Hietograma por el método de bloques alternos para un tiempo de retorno TR=100 años y luego de ingresar el número de curva para las 3 subcuencas y configurar el método SCS para la obtención de la precipitación efectiva, podemos observar los caudales picos en función al tiempo, como se observa en el Tabla N°27, donde el caudal pico se da a las 7:00 a.m un caudal de 27.7 m³/s , y luego empieza a descender el caudal máximo, por lo que el valor máximo tributara en el modelamiento al caudal de salida de la cuenca, donde este caudal de salida de la cuenca dependerá de los 3 caudales de las subcuencas.



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Tabla 27: Caudal de diseño para la subcuenca1

Tiempo	precip. (mm)	Pérdida (mm)	exceso (mm)	Q. directo(m3/s)	Q. base(m3/s)	Q.total(m3/s)
00:00				0	23.7	23.7
00:15	0.24	0.24	0	0	23.7	23.7
00:30	0.24	0.24	0	0	23.7	23.7

00:45	0.3	0.3	0	0	23.7	23.7
01:00	0.3	0.3	0	0	23.6	23.6
01:15	0.39	0.39	0	0	23.6	23.6
01:30	0.39	0.39	0	0	23.6	23.6
01:45	0.62	0.62	0	0	23.6	23.6
02:00	0.62	0.62	0	0	23.6	23.6
02:15	4.85	4.85	0	0	23.6	23.6
02:30	4.85	4.85	0	0	23.6	23.6
02:45	0.92	0.92	0	0	23.6	23.6
03:00	0.92	0.9	0.02	0	23.5	23.6
03:15	0.48	0.46	0.02	0	23.5	23.6
03:30	0.48	0.45	0.03	0.1	23.5	23.6
03:45	0.34	0.32	0.02	0.2	23.5	23.7
04:00	0.34	0.31	0.02	0.3	23.5	23.8
04:15	0.27	0.25	0.02	0.5	23.5	24
04:30	0.27	0.24	0.02	0.7	23.5	24.2
04:45	0.22	0.2	0.02	1	23.5	24.5
05:00	0.22	0.2	0.02	1.4	23.4	24.9
05:15	0	0	0	1.8	23.4	25.3
05:30	0	0	0	2.3	23.4	25.7
05:45	0	0	0	2.7	23.4	26.2
06:00	0	0	0	3.2	23.4	26.6
06:15	0	0	0	3.6	23.4	27
06:30	0	0	0	3.9	23.4	27.3
06:45	0	0	0	4.2	23.4	27.5
07:00	0	0	0	4.3	23.3	27.7
07:15	0	0	0	4.4	23.3	27.7
07:30	0	0	0	4.4	23.3	27.7
07:45	0	0	0	4.3	23.3	27.6
08:00	0	0	0	4.1	23.3	27.4
08:15	0	0	0	3.9	23.3	27.2
08:30	0	0	0	3.7	23.3	26.9
08:45	0	0	0	3.4	23.3	26.6
09:00	0	0	0	3.1	23.2	26.3
09:15	0	0	0	2.8	23.2	26
09:30	0	0	0	2.5	23.2	25.7

09:45	0	0	0	2.2	23.2	25.4
10:00	0	0	0	1.9	23.2	25.1
10:15	0	0	0	1.7	23.2	24.9
10:30	0	0	0	1.5	23.2	24.7
10:45	0	0	0	1.3	23.2	24.5
11:00	0	0	0	1.2	23.1	24.3
11:15	0	0	0	1.1	23.1	24.2
11:30	0	0	0	0.9	23.1	24.1
11:45	0	0	0	0.8	23.1	24
12:00	0	0	0	0.8	23.1	23.9
12:15	0	0	0	0.7	23.1	23.8
12:30	0	0	0	0.6	23.1	23.7
12:45	0	0	0	0.5	23.1	23.6
13:00	0	0	0	0.5	23.1	23.5
13:15	0	0	0	0.4	23	23.5
13:30	0	0	0	0.4	23	23.4
13:45	0	0	0	0.3	23	23.3
14:00	0	0	0	0.3	23	23.3
14:15	0	0	0	0.3	23	23.2
14:30	0	0	0	0.2	23	23.2
14:45	0	0	0	0.2	23	23.2
15:00	0	0	0	0.2	23	23.1
15:15	0	0	0	0.2	22.9	23.1
15:30	0	0	0	0.1	22.9	23.1
15:45	0	0	0	0.1	22.9	23
16:00	0	0	0	0.1	22.9	23
16:15	0	0	0	0.1	22.9	23
16:30	0	0	0	0.1	22.9	23
16:45	0	0	0	0.1	22.9	22.9
17:00	0	0	0	0.1	22.9	22.9
17:15	0	0	0	0.1	22.8	22.9
17:30	0	0	0	0.1	22.8	22.9
17:45	0	0	0	0.1	22.8	22.9
18:00	0	0	0	0	22.8	22.9

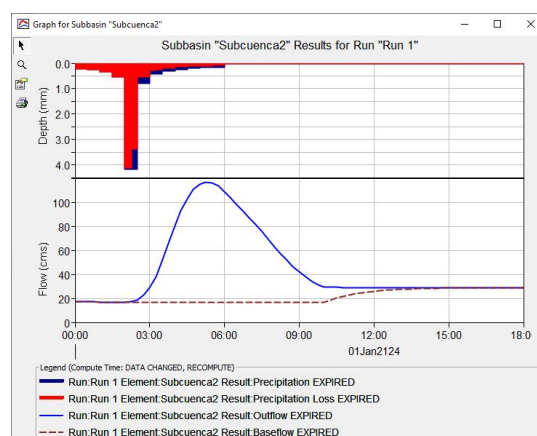
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Resultados HEC HMS para la subcuenca 02

Análogamente para la subcuenca N°02 ingresamos los datos al HEC-HMS para calcular a partir del hietograma de diseño el hidrograma de diseño donde podemos observar en la Tabla N°28 a las 5:15 a.m tenemos el caudal pico máximo para la subcuenca que tiene un valor de $116.5 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual aportará al caudal de salida en nuestro punto de interés y tramo de análisis para la inundación.

Figura 107

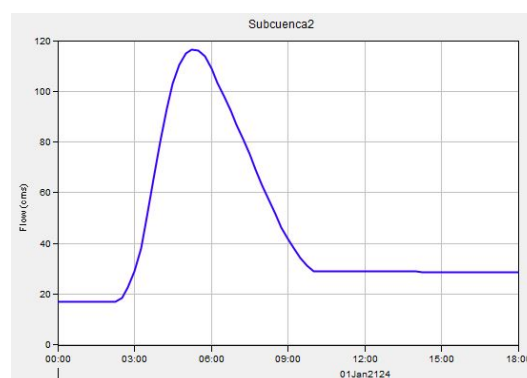
Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Figura 108

Hidrograma de caudal de diseño



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Tabla 28: Caudal de diseño para la subcuenca1

Tiempo	precip. (mm)	Pérdida (mm)	exceso (mm)	Q. directo(m3/s)	Q. base(m3/s)	Q. total(m3/s)
00:00				0	17	17
00:15	0.21	0.21	0	0	17	17
00:30	0.21	0.21	0	0	17	17
00:45	0.26	0.26	0	0	17	17
01:00	0.26	0.26	0	0	17	17
01:15	0.34	0.34	0	0	17	17
01:30	0.34	0.34	0	0	16.9	16.9
01:45	0.53	0.53	0	0	16.9	16.9
02:00	0.53	0.53	0	0	16.9	16.9
02:15	4.18	4.13	0.05	0.1	16.9	17
02:30	4.18	3.36	0.81	1.7	16.9	18.6
02:45	0.79	0.54	0.25	5.8	16.9	22.7
03:00	0.79	0.52	0.27	12	16.9	28.9

03:15	0.41	0.26	0.15	21.1	16.9	38
03:30	0.41	0.25	0.16	33.7	16.9	50.6
03:45	0.29	0.18	0.11	48.8	16.9	65.6
04:00	0.29	0.17	0.12	63.4	16.9	80.2
04:15	0.23	0.14	0.09	76.2	16.8	93.1
04:30	0.23	0.13	0.1	86.2	16.8	103
04:45	0.19	0.11	0.08	93.7	16.8	110.5
05:00	0.19	0.11	0.08	98	16.8	114.8
05:15	0.17	0.09	0.07	99.7	16.8	116.5
05:30	0.17	0.09	0.07	99.4	16.8	116.2
05:45	0.15	0.08	0.07	96.9	16.8	113.7
06:00	0.15	0.08	0.07	92	16.8	108.8
06:15	0	0	0	86.5	16.8	103.2
06:30	0	0	0	81.1	16.8	97.9
06:45	0	0	0	75.7	16.8	92.4
07:00	0	0	0	70.2	16.7	86.9
07:15	0	0	0	64.5	16.7	81.3
07:30	0	0	0	58.6	16.7	75.3
07:45	0	0	0	52.4	16.7	69.1
08:00	0	0	0	46.2	16.7	62.9
08:15	0	0	0	40.3	16.7	57
08:30	0	0	0	34.8	16.7	51.5
08:45	0	0	0	29.8	16.7	46.4
09:00	0	0	0	25.2	16.7	41.9
09:15	0	0	0	21.1	16.7	37.8
09:30	0	0	0	17.7	16.7	34.3
09:45	0	0	0	14.8	16.6	31.5
10:00	0	0	0	12.5	16.7	29.1
10:15	0	0	0	10.5	18.6	29.1
10:30	0	0	0	8.8	20.3	29.1
10:45	0	0	0	7.4	21.6	29.1
11:00	0	0	0	6.3	22.8	29.1
11:15	0	0	0	5.3	23.8	29
11:30	0	0	0	4.4	24.6	29
11:45	0	0	0	3.7	25.3	29
12:00	0	0	0	3.1	25.9	29

12:15	0	0	0	2.7	26.3	29
12:30	0	0	0	2.2	26.7	29
12:45	0	0	0	1.9	27.1	29
13:00	0	0	0	1.6	27.4	28.9
13:15	0	0	0	1.3	27.6	28.9
13:30	0	0	0	1.1	27.8	28.9
13:45	0	0	0	0.9	28	28.9
14:00	0	0	0	0.7	28.2	28.9
14:15	0	0	0	0.5	28.3	28.9
14:30	0	0	0	0.4	28.4	28.8
14:45	0	0	0	0.3	28.5	28.8
15:00	0	0	0	0.3	28.6	28.8
15:15	0	0	0	0.2	28.6	28.8
15:30	0	0	0	0.2	28.6	28.8
15:45	0	0	0	0.1	28.6	28.8
16:00	0	0	0	0.1	28.7	28.8
16:15	0	0	0	0.1	28.7	28.7
16:30	0	0	0	0	28.7	28.7
16:45	0	0	0	0	28.7	28.7
17:00	0	0	0	0	28.7	28.7
17:15	0	0	0	0	28.7	28.7
17:30	0	0	0	0	28.7	28.7
17:45	0	0	0	0	28.6	28.6
18:00	0	0	0	0	28.6	28.6

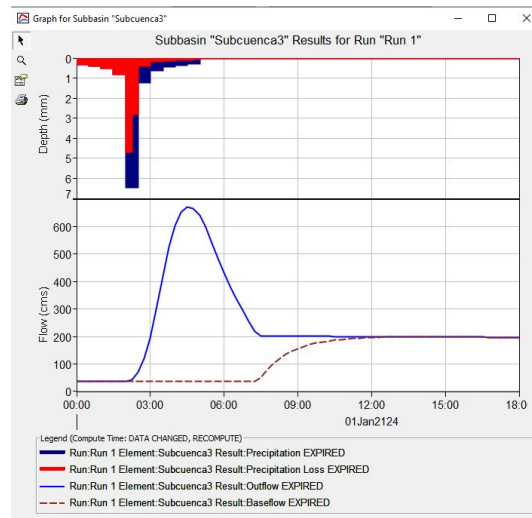
Fuente: Elaboración Propia

4.3 Resultados HEC HMS para la subcuenca 03

Para la subcuenca N°03 análogamente a las demás subcuencas ingresamos los datos y el método SCS (soil conservation service) para calcular los hidrogramas a partir de los hietogramas con las precipitaciones efectivas, luego de ingresar también los números de curvas para todas las subcuencas podemos determinar para la subcuenca N°03 a las 4:30 a.m tenemos un caudal pico de $672.1 \text{ m}^3/\text{s}$ la que tributara al caudal de salida de la cuenca en el punto de aforo del tramo de interés donde se realiza el modelamiento bidimensional para la inundación a partir de la escorrentía superficial y la precipitación efectiva utilizando el método SCS y la precipitación total obtenida del PISCO SENAMHI.

Figura 109

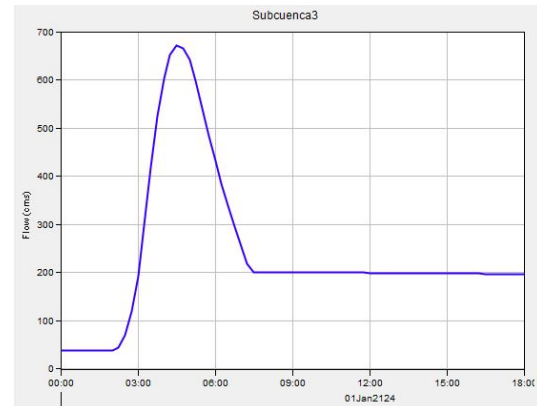
Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuenca1



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Figura 110

Hidrograma de caudal de diseño



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Tabla 29: Caudal de diseño para la subcuenca1

Tiempo	precip. (mm)	Pérdida (mm)	exceso (mm)	Q. directo(m3/s)	Q. base(m3/s)	Q. total(m3/s)
00:00				0	37.9	37.9
00:15	0.32	0.32	0	0	37.9	37.9
00:30	0.32	0.32	0	0	37.9	37.9
00:45	0.4	0.4	0	0	37.8	37.8
01:00	0.4	0.4	0	0	37.8	37.8
01:15	0.52	0.52	0	0	37.8	37.8
01:30	0.52	0.52	0	0	37.8	37.8
01:45	0.82	0.82	0	0	37.8	37.8
02:00	0.82	0.82	0	0	37.7	37.8
02:15	6.47	4.7	1.77	6.2	37.7	43.9
02:30	6.47	2.82	3.65	32.5	37.7	70.2
02:45	1.22	0.41	0.81	82.1	37.7	119.8
03:00	1.22	0.38	0.84	156.1	37.7	193.8
03:15	0.63	0.19	0.45	260.6	37.6	298.2
03:30	0.63	0.18	0.45	380.8	37.6	418.4
03:45	0.45	0.13	0.33	486.8	37.6	524.4
04:00	0.45	0.12	0.33	565.2	37.6	602.8

04:15	0.36	0.09	0.26	613.4	37.6	650.9
04:30	0.36	0.09	0.26	634.5	37.5	672.1
04:45	0.3	0.08	0.22	627.4	37.5	664.9
05:00	0.3	0.08	0.22	604.4	37.5	641.9
05:15	0	0	0	560.9	37.5	598.4
05:30	0	0	0	502.5	37.5	540
05:45	0	0	0	446.3	37.4	483.7
06:00	0	0	0	395.5	37.4	433
06:15	0	0	0	346.4	37.4	383.8
06:30	0	0	0	300.8	37.4	338.2
06:45	0	0	0	257.6	37.4	295
07:00	0	0	0	217.2	37.3	254.5
07:15	0	0	0	180.9	37.3	218.2
07:30	0	0	0	149.8	51.8	201.6
07:45	0	0	0	122.8	78.7	201.5
08:00	0	0	0	99.8	101.5	201.4
08:15	0	0	0	81.3	119.9	201.3
08:30	0	0	0	66.6	134.5	201.1
08:45	0	0	0	54.6	146.4	201
09:00	0	0	0	44.9	156.1	200.9
09:15	0	0	0	36.8	164	200.8
09:30	0	0	0	30.1	170.6	200.7
09:45	0	0	0	24.6	176	200.6
10:00	0	0	0	20.1	180.4	200.5
10:15	0	0	0	16.5	183.9	200.4
10:30	0	0	0	13.6	186.7	200.3
10:45	0	0	0	11.2	189	200.2
11:00	0	0	0	9.2	190.8	200.1
11:15	0	0	0	7.6	192.4	200
11:30	0	0	0	6.1	193.7	199.9
11:45	0	0	0	4.8	194.9	199.8
12:00	0	0	0	3.6	196	199.6
12:15	0	0	0	2.6	197	199.5
12:30	0	0	0	1.8	197.7	199.4
12:45	0	0	0	1.3	198	199.3
13:00	0	0	0	1	198.3	199.2

13:15	0	0	0	0.7	198.4	199.1
13:30	0	0	0	0.5	198.5	199
13:45	0	0	0	0.3	198.6	198.9
14:00	0	0	0	0.2	198.6	198.8
14:15	0	0	0	0.1	198.6	198.7
14:30	0	0	0	0.1	198.5	198.6
14:45	0	0	0	0	198.5	198.5
15:00	0	0	0	0	198.4	198.4
15:15	0	0	0	0	198.2	198.2
15:30	0	0	0	0	198.1	198.1
15:45	0	0	0	0	198	198
16:00	0	0	0	0	197.9	197.9
16:15	0	0	0	0	197.8	197.8
16:30	0	0	0	0	197.7	197.7
16:45	0	0	0	0	197.6	197.6
17:00	0	0	0	0	197.5	197.5
17:15	0	0	0	0	197.4	197.4
17:30	0	0	0	0	197.3	197.3
17:45	0	0	0	0	197.2	197.2
18:00	0	0	0	0	197.1	197.1

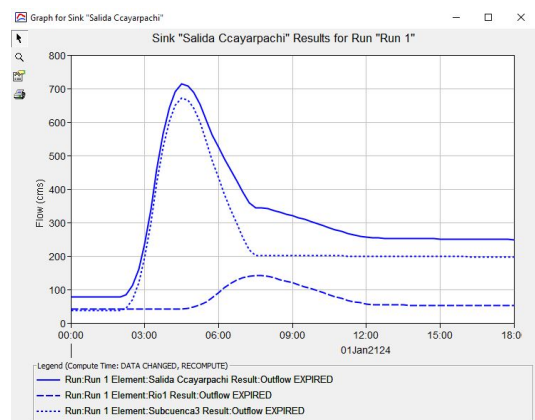
Fuente: Elaboración Propia

4.4 Resultados HEC HMS para la salida de la cuenca

Como se aprecia en la Figura N°111 y 112 el resultado de los caudales de salida de las 3 subcuencas de análisis y modelado, donde el caudal pico resultante que tenemos en la cuenca se da a las 4:30 a.m con un caudal pico de $Q=712.9 \text{ m}^3/\text{s}$ tenemos los caudales en la tabla N°30 que son muy importante para el modelamiento de la inundación, estos datos fueron obtenidos con el HEC-HMS que serán utilizados para el modelamiento hidráulico y para los datos de ingresos de hidrograma al HEC-RAS, con ello se obtendrá los parámetros hidráulicos, finalmente se modelara la inundación con el programa IBER AULA.

Figura 111

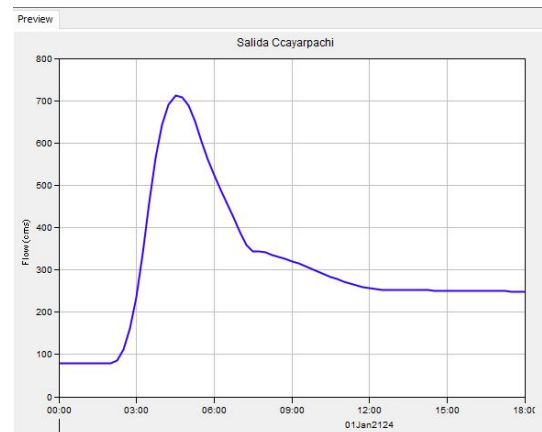
Hidrograma de caudal de diseño para un tiempo de retorno TR=100 años para subcuena1



Fuente: Elaboracion Propia con HEC-HMS

Figura 112

Hidrograma de caudal de diseño



Fuente: Elaboración Propia con HEC-HMS

Tabla 30: Caudal de diseño para la subcuena1

Dato	Tiempo(min)	Afluencia de rio1 (m3/s)	Afluencia de rio3 (m3/s)	total afluencia (m3/s)
01ene.2124	00:00	40.7	37.9	78.6
01ene.2124	00:15	40.7	37.9	78.6
01ene.2124	00:30	40.7	37.9	78.6
01ene.2124	00:45	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	01:00	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	01:15	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	01:30	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	01:45	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	02:00	40.7	37.8	78.5
01ene.2124	02:15	40.7	43.9	84.6
01ene.2124	02:30	40.7	70.2	110.9
01ene.2124	02:45	40.7	119.8	160.5
01ene.2124	03:00	40.6	193.8	234.4
01ene.2124	03:15	40.6	298.2	338.8
01ene.2124	03:30	40.6	418.4	459
01ene.2124	03:45	40.6	524.4	565
01ene.2124	04:00	40.5	602.8	643.4
01ene.2124	04:15	40.5	650.9	691.5
01ene.2124	04:30	40.8	672.1	712.9
01ene.2124	04:45	42.8	664.9	707.7

01ene.2124	05:00	47.1	641.9	689
01ene.2124	05:15	53.7	598.4	652.1
01ene.2124	05:30	63.3	540	603.2
01ene.2124	05:45	76.2	483.7	560
01ene.2124	06:00	91.3	433	524.2
01ene.2124	06:15	105.8	383.8	489.5
01ene.2124	06:30	118.4	338.2	456.6
01ene.2124	06:45	128.3	295	423.2
01ene.2124	07:00	135.6	254.5	390.1
01ene.2124	07:15	140	218.2	358.2
01ene.2124	07:30	141.8	201.6	343.4
01ene.2124	07:45	141.7	201.5	343.1
01ene.2124	08:00	139.3	201.4	340.6
01ene.2124	08:15	134.7	201.3	336
01ene.2124	08:30	129.5	201.1	330.7
01ene.2124	08:45	124.5	201	325.5
01ene.2124	09:00	119.2	200.9	320.2
01ene.2124	09:15	113.9	200.8	314.7
01ene.2124	09:30	108.2	200.7	308.9
01ene.2124	09:45	102.2	200.6	302.8
01ene.2124	10:00	95.8	200.5	296.3
01ene.2124	10:15	89.5	200.4	289.9
01ene.2124	10:30	83.5	200.3	283.8
01ene.2124	10:45	77.7	200.2	277.9
01ene.2124	11:00	72.4	200.1	272.5
01ene.2124	11:15	67.6	200	267.6
01ene.2124	11:30	63.3	199.9	263.2
01ene.2124	11:45	59.6	199.8	259.4
01ene.2124	12:00	56.5	199.6	256.2
01ene.2124	12:15	54.2	199.5	253.8
01ene.2124	12:30	54	199.4	253.4
01ene.2124	12:45	53.8	199.3	253.1
01ene.2124	13:00	53.6	199.2	252.8
01ene.2124	13:15	53.4	199.1	252.5
01ene.2124	13:30	53.2	199	252.2
01ene.2124	13:45	53.1	198.9	252

01ene.2124	14:00	53	198.8	251.7
01ene.2124	14:15	52.8	198.7	251.5
01ene.2124	14:30	52.7	198.6	251.3
01ene.2124	14:45	52.6	198.5	251.1
01ene.2124	15:00	52.5	198.4	250.9
01ene.2124	15:15	52.4	198.2	250.7
01ene.2124	15:30	52.4	198.1	250.5
01ene.2124	15:45	52.3	198	250.3
01ene.2124	16:00	52.2	197.9	250.2
01ene.2124	16:15	52.2	197.8	250
01ene.2124	16:30	52.1	197.7	249.8
01ene.2124	16:45	52	197.6	249.7
01ene.2124	17:00	52	197.5	249.5
01ene.2124	17:15	51.9	197.4	249.3

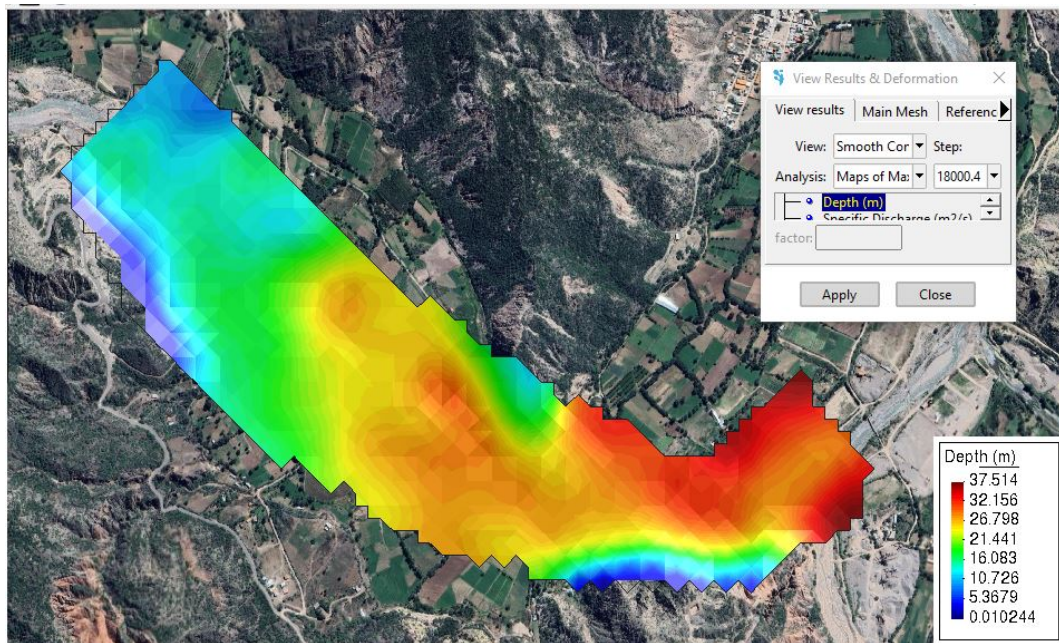
Fuente: Elaboración Propia

4.5 Resultados IBER para el tramo analizado

Luego de calcular el hidrograma de diseño a partir del programa HEC-HMS utilizando el método SCS-CN para el cálculo de hietograma a partir de la precipitación efectiva, se ingresa los datos calculados al IBER AULA tenemos los siguientes resultados: Calado o profundidad del tramo de interés del río donde podemos observar los resultados:

Figura 113

Mapa de profundidades



Fuente: Elaboración Propia con IBER AULA

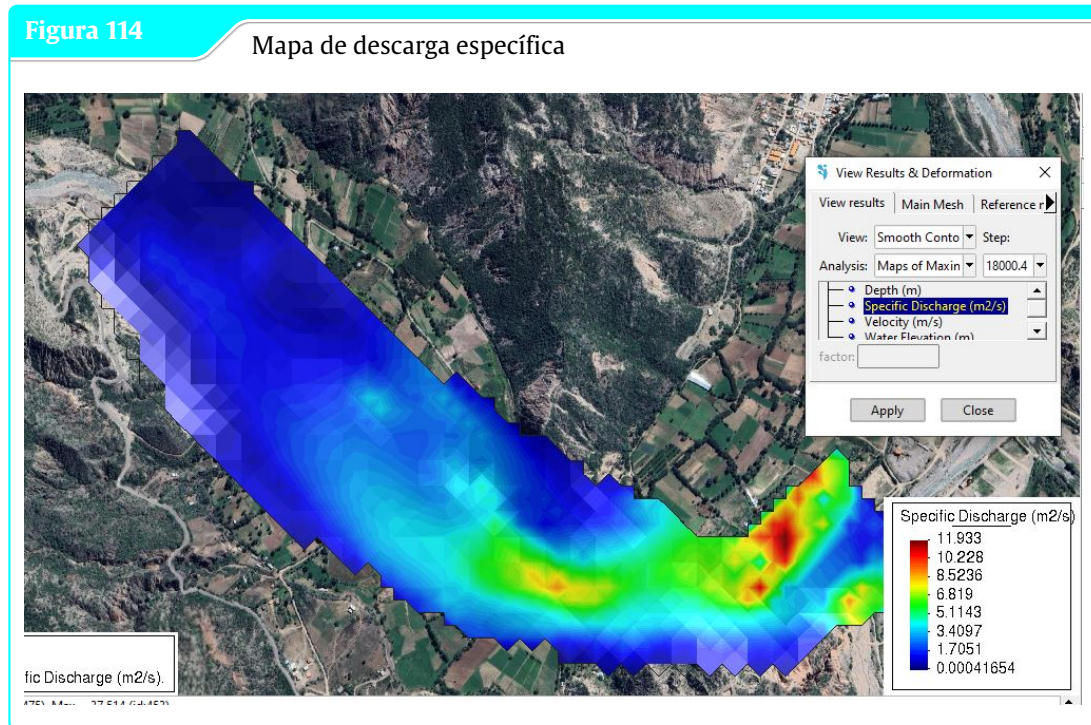
Como se observar en la Figura N° 113 la mayor parte del río se encuentra entre los valores de la tabla N°31.

Tabla 31: Valores para el calado o profundidad

Mapa de calado o profundidad	Unidad (m)	Descripción
	33 - 38	Peligro máximo
	27 - 33	Peligro alto
	22 - 27	Peligro medio
	15 - 22	Peligro moderado
	7 - 15	Peligro bajo
	0.01 - 7	Peligro mínimo

Fuente: Elaboración propia con IBER AULA V.3.2

Para los resultados de la descarga específica se puede apreciar que el lecho del río tiene valores principalmente en mayor porcentaje entre 0.00 a 4.00 m²/s y fuera del lecho del río tenemos valores entre 0.01 a 2.00 m²/s, son valores bajos porque se incrementa en dirección a los lugares donde se va inundar por lo que su descarga específica longitudinal disminuye considerablemente.



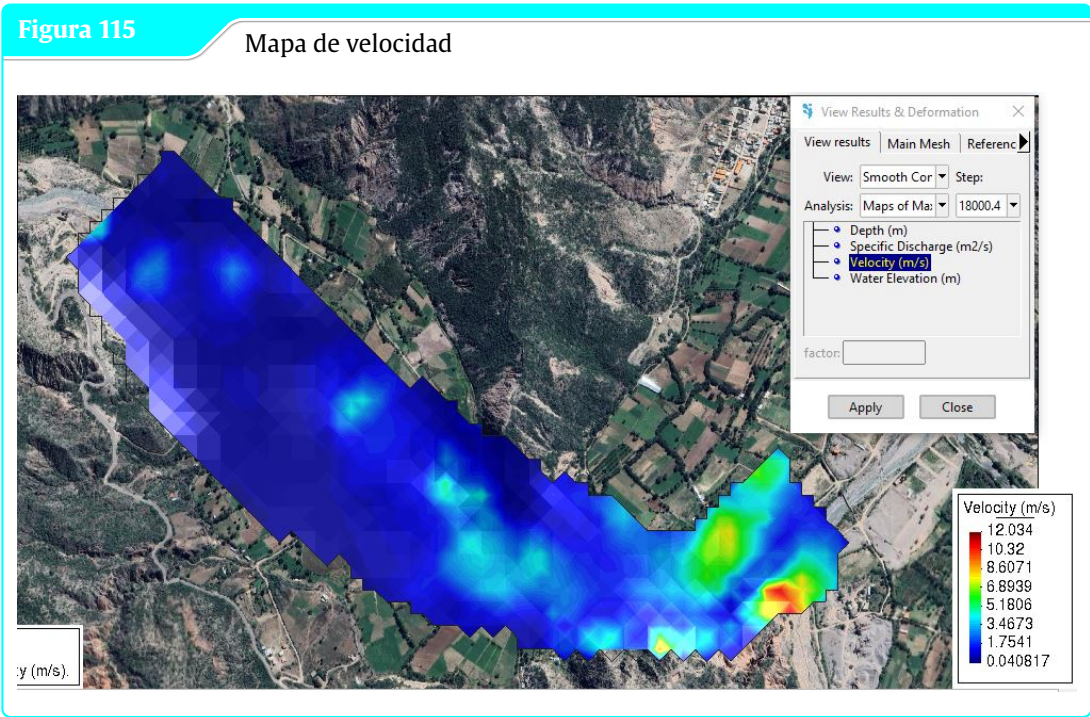
Fuente: Elaboración Propia con IBER AULA

Tabla 32: Valores para la descarga específica

Leyenda de descarga específica	Unidad (m ² /s)	Descripción
	11 - 12	Peligro máximo
	9 - 11	Peligro alto
	7 - 9	Peligro medio
	4 - 7	Peligro moderado
	2 - 4	Peligro bajo
	0.01 - 2	Peligro mínimo

Fuente: Elaboración propia con IBER AULA V.3.2

Para la velocidad en (m/s) podemos apreciar que se tienen valores entre 0 a 3.5 m/s en casi todo el lecho del río con excepciones de valores mínimas en la tabla 33 podemos apreciar para la velocidad del río.



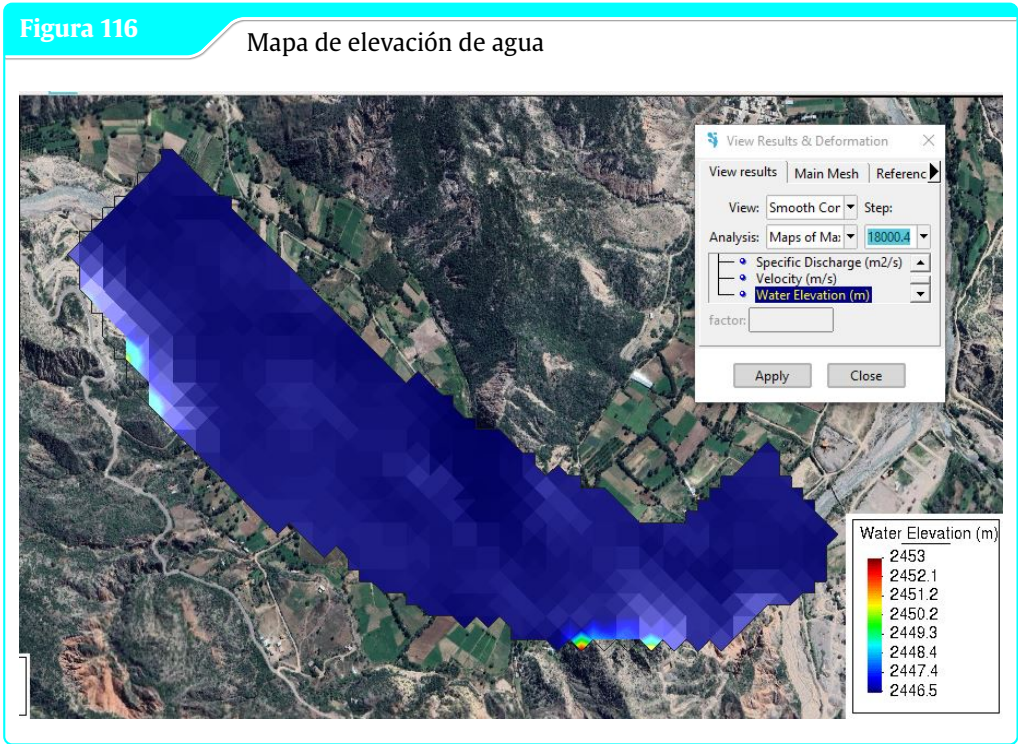
Fuente: Elaboración Propia con IBER AULA

Tabla 33: Valores para la velocidad (m/s)

Leyenda de mapa de velocidad	Unidad (m/s)	Descripción
	11.0 - 12.0	Peligro máximo
	9.0 - 11.0	Peligro alto
	7.0 - 9.0	Peligro medio
	4.0 - 7.0	Peligro moderado
	2.0 - 4.0	Peligro bajo
	0.01 - 2.0	Peligro mínimo

Fuente: Elaboración propia con IBER AULA V.3.2

Para la elevación del agua respecto al nivel del mar podemos observar en la tabla N°34 que tenemos los valores de mayores a menores cotas, el curso del río se observa cota mayor de 2453 m.s.n.m y cota menor de 2446.5 con un desnivel de 6.5 m para 1110 m de longitud aproximadamente con una pendiente de 0.65 %, por lo que tenemos mayor inundación en la parte baja del tramo de interés analizado y como se puede apreciar en la parte alta no se cuenta aún con mucha inundación lo que concluimos que las partes bajas son más vulnerables a sufrir inundaciones.



Fuente: Elaboración Propia con IBER AULA

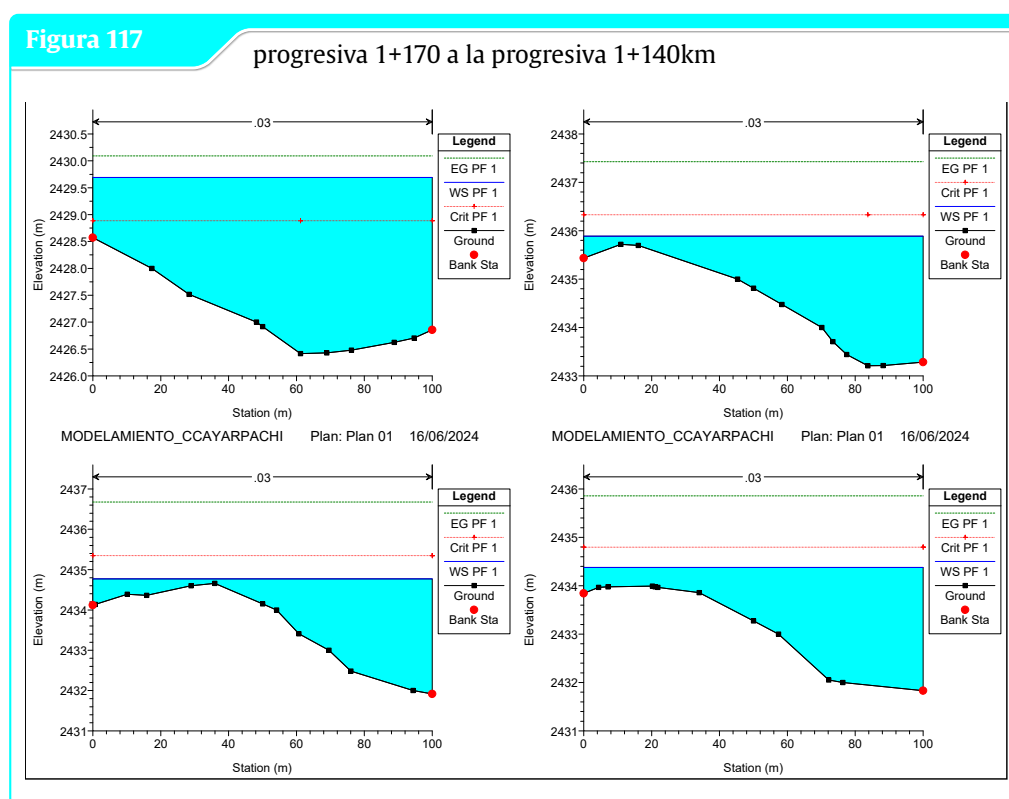
Tabla 34: Valores para la elevación del agua (m.s.n.m)

Leyenda de elevación de altura de agua	Unidad (m.s.n.m)	Descripción
	2452.5 - 2453	Peligro máximo
	2452 - 2452.5	Peligro alto
	2451 - 2452	Peligro medio
	2449 - 2451	Peligro moderado
	2448 - 2449	Peligro bajo
	2446 - 2448	Peligro mínimo

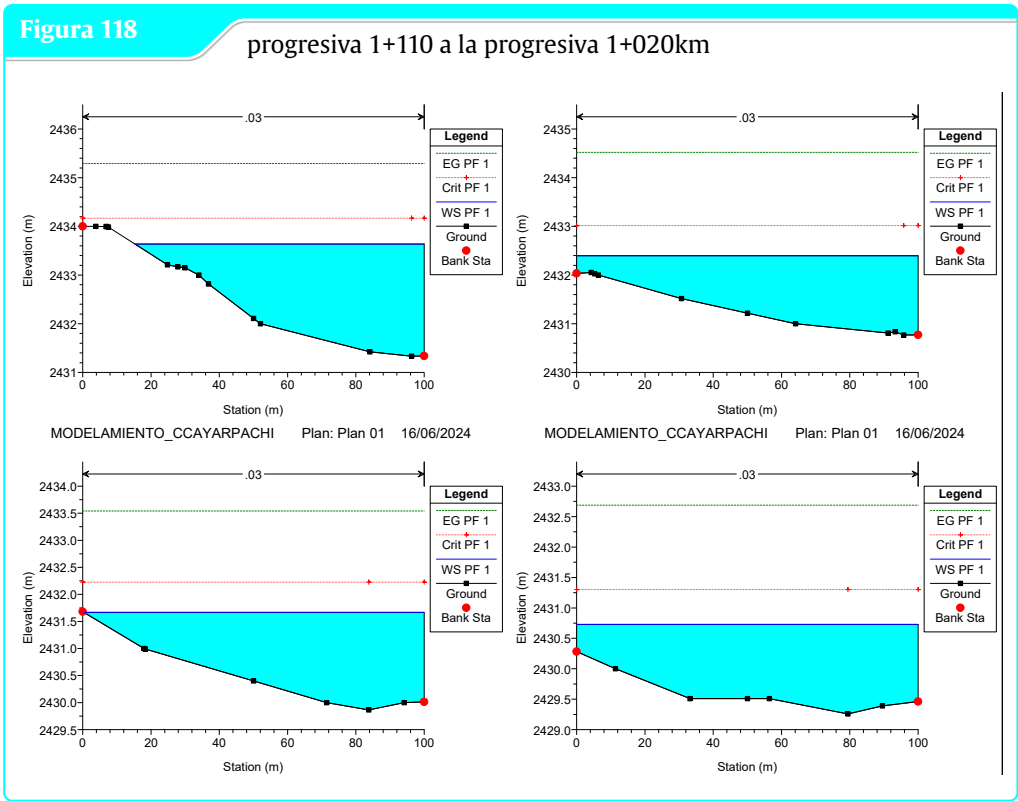
Fuente: Elaboración propia con IBER AULA V.3.2

4.6 Resultados HEC-RAS para el tramo analizado

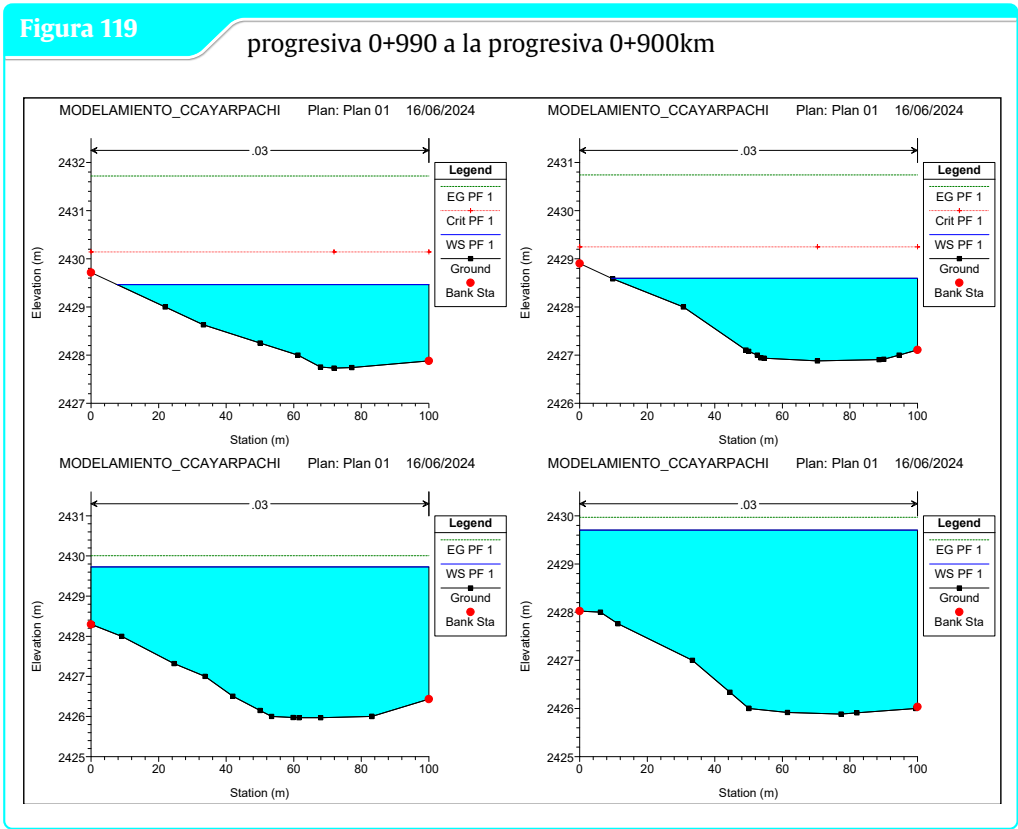
Para cada sección transversal de las progresivas del río, el caudal sobrepasa el tirante del río por lo que podemos apreciar en muchas secciones que el agua se encuentra por encima del río lo que nos confirma que se encuentran inundadas en muchas secciones, también hay secciones donde no se encuentran inundadas ya que para la inundación influye muchos factores como: la descarga específica, velocidad, calado, nivel de agua, cotas, caudal, pendiente, rugosidad de Manning, número de Froude, área mojada y régimen del flujo y entre otros parámetros hidráulicos que determinan en que secciones se tendrán mayores inundaciones y que secciones no estarán inundadas, para la presente inundación se analiza una longitud aproximadamente de 1.5 km río arriba del punto de aforo a analizar, la imagen de ortofoto y la transparencia del programa IBER AULA de las zonas inundadas, para un tiempo de retorno $TR=100$ años, $TR=500$ años tendremos aún mayores inundaciones como también en la presente investigación se pudo apreciar para tiempo de retorno menores a $TR=100$ años no llegan a inundarse por lo que la investigación busca asegurar la probabilidad de inundación para $TR=100$ años, con el modelamiento del producto grillado del PISCO SENAMHI, obteniendo un caudal de diseño de $712.9 \text{ m}^3/\text{s}$ para las instituciones públicas de monitoreo de inundaciones como el ANA, SENAMHI, CENEPRED o DEFENSA CIVIL nos encontraríamos en alerta roja.



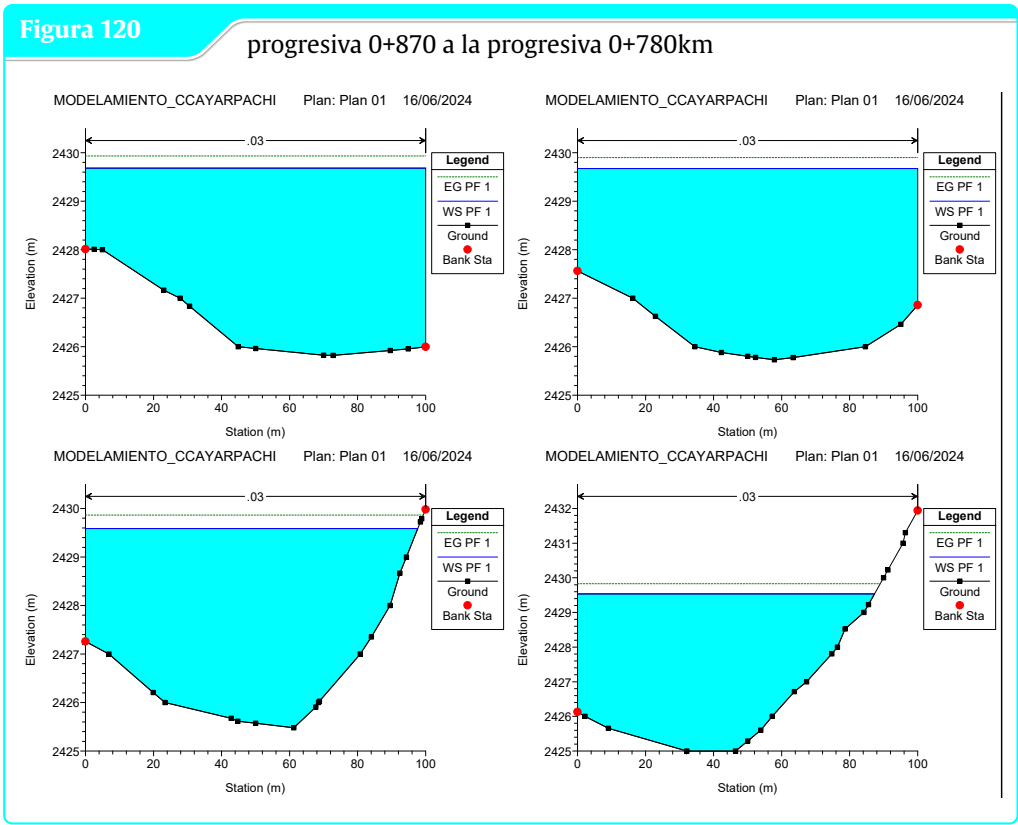
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



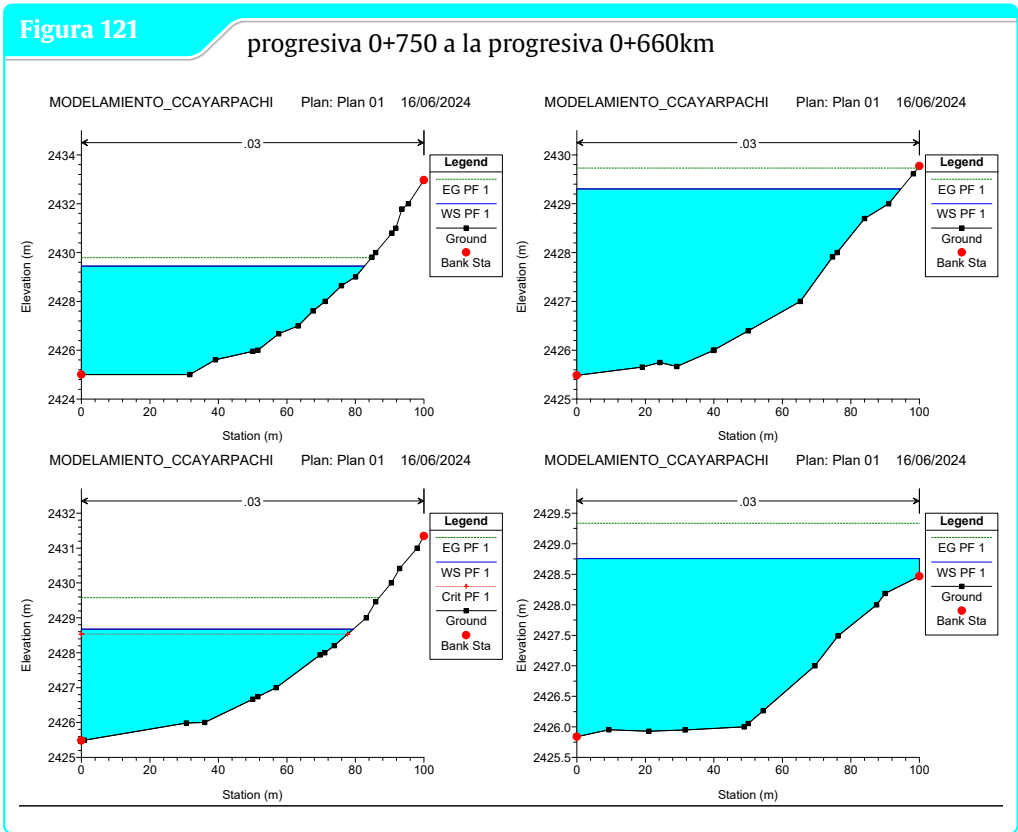
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



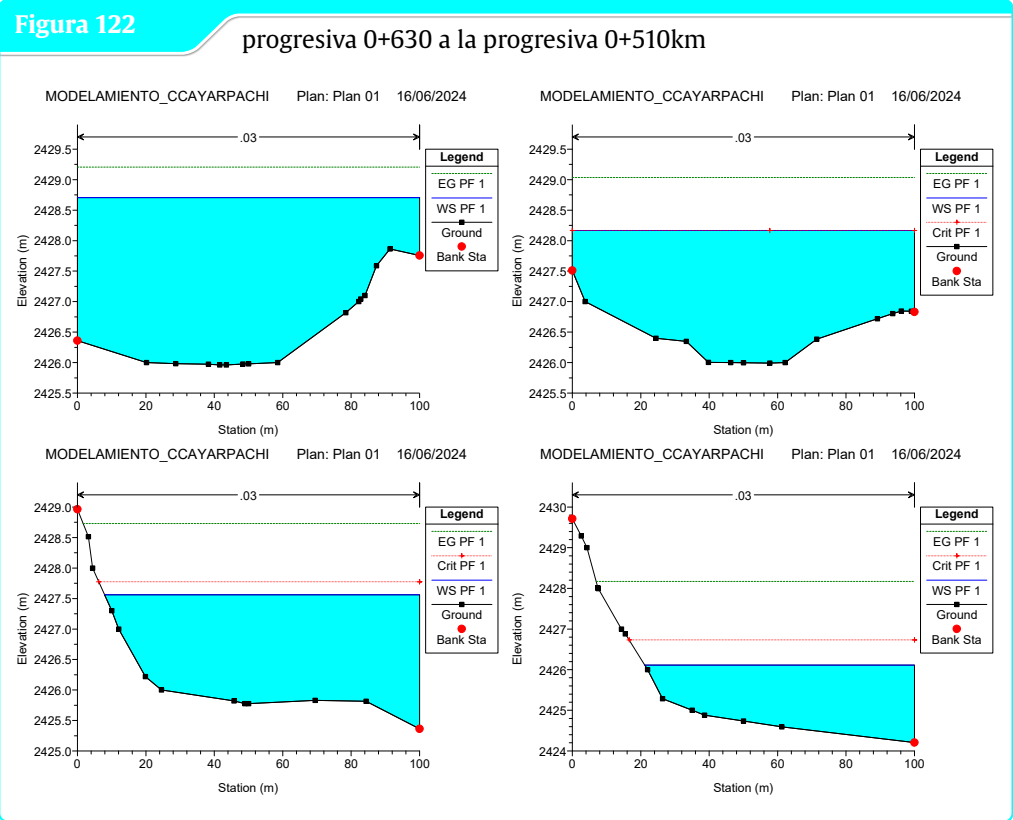
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



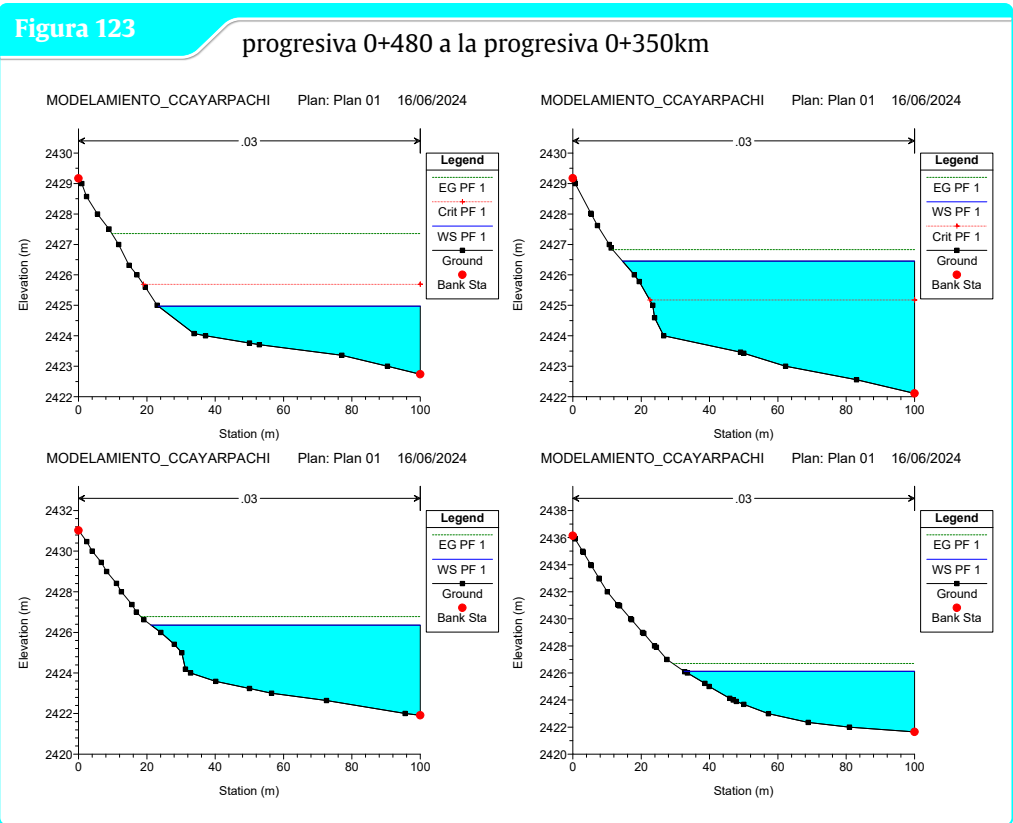
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



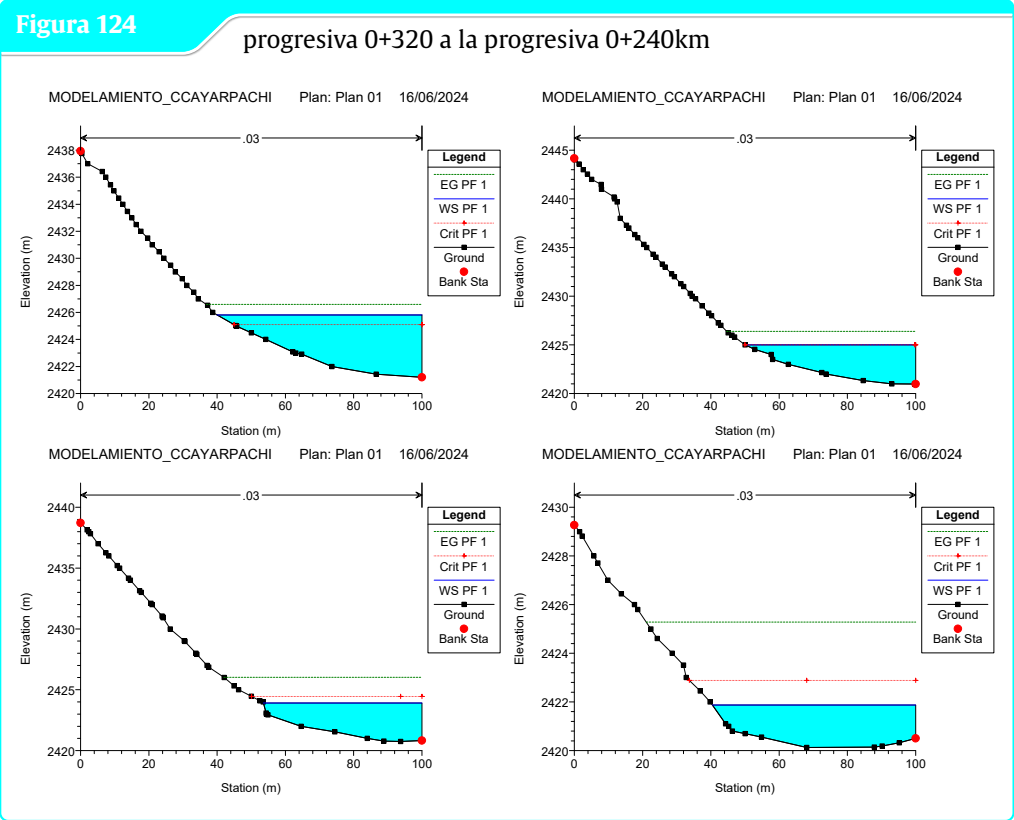
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



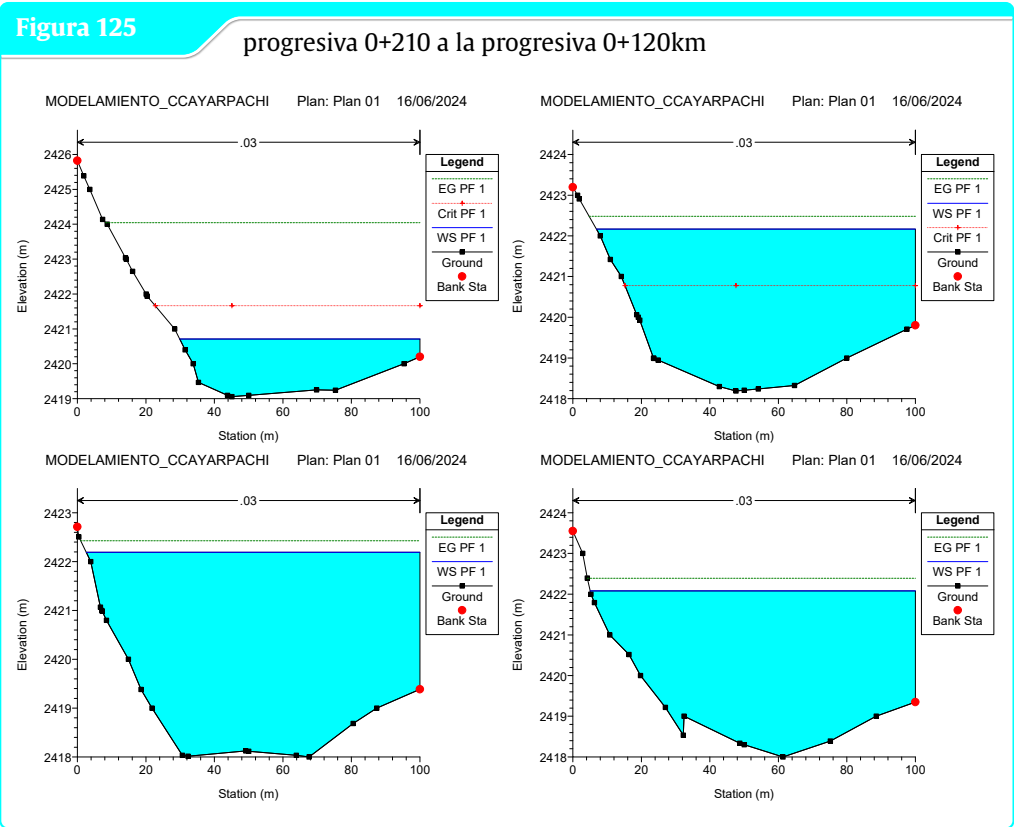
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS



Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS

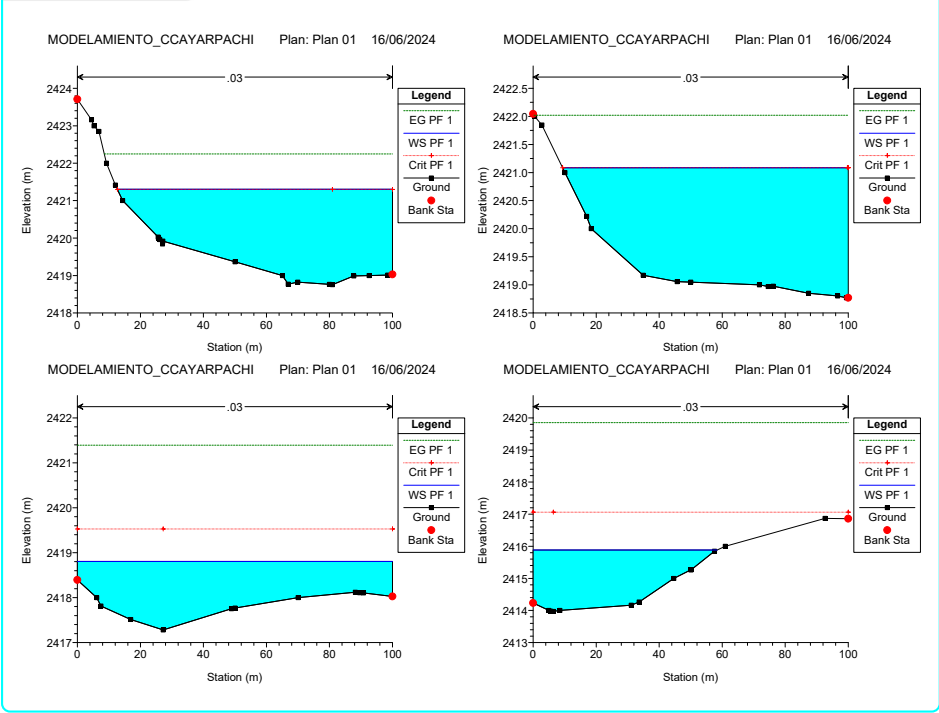


Fuente: Elaboración propia con SAGACIS.



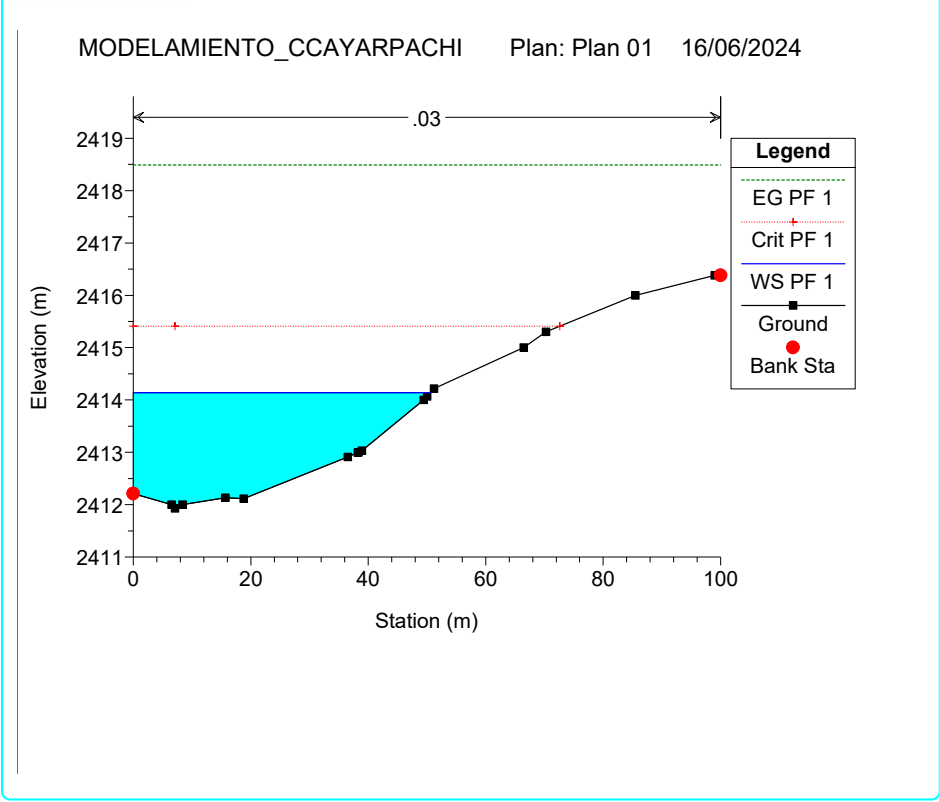
Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS

Figura 126 progresiva 0+90 a la progresiva 0+30km



Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS

Figura 127 progresiva 0+ 1.69



Fuente: Elaboración propia con HEC-RAS

En las imágenes de los espejos de agua para cada sección transversal y progresiva del río, tenemos una longitud de 1.5 km, con diferentes medidas para cada sección que depende de las secciones y características hidráulicas de la topografía para todas las secciones del río como son las progresivas, caudal total en m^3/s , cotas de agua, tirante crítico, elevación, pendiente, velocidad del canal, área de flujo, número de Froude, etc. nos va servir para determinar las características hidráulicas del río.

En la tabla N°35 podemos apreciar todos los parámetros hidráulicos como resultado del modelamiento con el programa HEC-RAS, luego de ingresar los hidrogramas de diseño obtenidos por el programa HEC-HMS, utilizando el modelo SCS-CN, para obtener la precipitación efectiva a partir de las precipitaciones totales obtenidas del producto Pd de PISCO SENAMHI, donde los datos ingresados al HEC-RAS, con el coeficiente de Manning, la pendiente del río, el régimen de fluido, se obtuvieron los datos de la Tabla N°35, para cada una de las progresivas del río ya que las progresivas se tienen cada 20 m donde las secciones del río son obtenidas con levantamientos topográfico procesados en CIVIL 3D y exportados al HEC RAS para determinar cada sección transversal.

Tabla 35: Caudal de diseño para la subcuenca1

Progresiva	Caudal máximo (m3/s)	Cota de fondo (m)	cota de agua(m)	Tirante crítico (m)	E.G. Elevación (m)	Pendiente(m/m)	Vel. Canal (m/s)	Área de flujo (m2)	N° Froude
1110	712.9	2431.34	2433.64	2434.17	2435.29	0.017	5.7	125.15	1.5
1080	712.9	2430.77	2432.4	2433.02	2434.52	0.033	6.46	110.43	1.96
1050	712.9	2429.87	2431.67	2432.23	2433.54	0.027	6.06	117.61	1.78
1020	712.9	2429.26	2430.73	2431.3	2432.69	0.029	6.2	115.02	1.85
990	712.9	2427.73	2429.47	2430.14	2431.72	0.033	6.65	107.22	1.97
960	712.9	2426.88	2428.59	2429.25	2430.74	0.029	6.49	109.89	1.88
930	712.9	2426.41	2429.69	2428.89	2430.09	0.002	2.8	254.29	0.56
900	712.9	2425.97	2429.73		2430.01	0.001	2.34	304.87	0.43
870	712.9	2425.88	2429.71		2429.97	0.001	2.28	312.92	0.41
840	712.9	2425.82	2429.68		2429.93	0.001	2.22	321.41	0.4
810	712.9	2425.73	2429.67		2429.9	0.001	2.1	339.12	0.36
780	712.9	2425.48	2429.59		2429.87	0.001	2.34	305.26	0.42
750	712.9	2425	2429.53		2429.83	0.001	2.41	295.61	0.42
720	712.9	2425	2429.44		2429.79	0.001	2.6	273.93	0.46
690	712.9	2425.49	2429.3		2429.73	0.002	2.89	246.4	0.57
660	712.9	2425.48	2428.67	2428.53	2429.58	0.006	4.21	169.26	0.92
630	712.9	2425.84	2428.76		2429.34	0.003	3.37	211.64	0.74
600	712.9	2425.96	2428.71		2429.21	0.003	3.14	227.22	0.66
570	712.9	2425.99	2428.17	2428.17	2429.03	0.007	4.12	172.94	1
540	712.9	2425.36	2427.56	2427.78	2428.73	0.011	4.79	148.92	1.2
510	712.9	2424.21	2426.11	2426.73	2428.17	0.023	6.35	112.22	1.7
480	712.9	2422.74	2424.97	2425.69	2427.36	0.029	6.84	104.22	1.87
450	712.9	2422.11	2426.46	2425.18	2426.83	0.001	2.72	262.57	0.49
420	712.9	2421.92	2426.36		2426.78	0.001	2.86	248.98	0.51
390	712.9	2421.65	2426.13		2426.7	0.002	3.35	212.61	0.6
360	712.9	2421.19	2425.81	2425.1	2426.59	0.003	3.91	182.26	0.72
330	712.9	2420.97	2425	2425	2426.39	0.007	5.21	136.72	1.01
300	712.9	2420.75	2423.9	2424.45	2426.03	0.013	6.45	110.45	1.34
270	712.9	2420.12	2421.87	2422.88	2425.28	0.037	8.18	87.2	2.16
240	712.9	2419.06	2420.71	2421.66	2424.04	0.043	8.09	88.13	2.3
210	712.9	2418.19	2422.17	2420.78	2422.48	0.001	2.48	287.11	0.45
180	712.9	2418	2422.19		2422.43	0.001	2.16	329.98	0.37
150	712.9	2418	2422.08		2422.39	0.001	2.46	289.36	0.45

120	712.9	2418.75	2421.3	2421.3	2422.25	0.007	4.31	165.49	1
90	712.9	2418.77	2421.09	2421.09	2422.02	0.007	4.28	166.71	1.01
60	712.9	2417.28	2418.81	2419.53	2421.39	0.046	7.12	100.09	2.27
30	712.9	2413.97	2415.89	2417.07	2419.85	0.047	8.82	80.82	2.39
1.69	712.9	2411.93	2414.14	2415.41	2418.49	0.046	9.24	77.17	2.39

Fuente: Elaboración Propia

“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”

— David Hume

5 Conclusiones

5.1 Conclusiones

Para el objetivo principal se cumplió con la estimación de la escorrentía superficial directa a partir de la precipitación efectiva con el modelo lluvia-escorrentía obteniendo un caudal de diseño para un tiempo de retorno de 100 años equivalente a $Q=712.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. Para el objetivo específico 1

Se cumplió con la determinación del factor climático con la obtención de los registros históricos de precipitaciones máximas diarias anuales para un tiempo de retorno de $TR=100$ años obtenida y validada por el producto grillado PISCO-SENAMHI la cual se recomienda para cuencas sin registros e instrumentación de estaciones meteorológicas en formato Ráster Brick con una resolución de 0.05° equivalente a $5 \times 5 \text{ km}^2$ por cada celda o pixel.

2. Para el objetivo específico 2

Se cumplió con la determinación del factor hidrológico y para esta dimensión se tiene el número de curva utilizando teledetección satelital obteniendo valores para las subcuencas de Ccayaparchi entre $CN=90$ a $CN=92$ a partir de los usos y coberturas de suelos.

3. Para el objetivo específico 3

Se cumplió con la determinación del factor hidráulico como el tirante crítico, número de Froude, régimen de flujo, elevación, pendiente, área de flujo, descarga específica, velocidad de flujo, donde estos valores se encuentran en la Tabla N° 35, para un tiempo de retorno de $TR=100$ años.

5.2 Recomendaciones

1. Al realizar el aforo, es crucial verificar si el río presenta un caudal elevado para prevenir posibles accidentes. Se debe utilizar el equipo de seguridad adecuado, como botas antideslizantes y chaleco salvavidas.
2. Se recomienda crear mapas para número de curvas para diferentes estaciones con la finalidad de evaluar el comportamiento del número de curvas en la cuenca de Ccayarpachi y sobre todo en estaciones de diciembre a mayo donde tenemos mayores precipitaciones y por lo tanto mayor probabilidad de ocurrencia de una inundación en estas temporadas por lo tanto nos interesa saber el número de curvas durante esta etapa.
3. Se recomienda utilizar precipitaciones del PISCO-SENAMHI para las cuencas donde no se cuentan con estaciones de registros de precipitación y otras variables meteorológicas, a excepción de algunos lugares de la costa porque la interpolación que tiene el PISCO SENAMHI es mejor, que las interpolaciones. Además, se deben considerar las estaciones que se encuentran fuera de la cuenca de análisis en cuestión.

5.3 Trabajos a futuro

Se sugiere realizar investigaciones en:

1. Teledetección para determinar el número de curvas al detalle en función de las imágenes satelitales para diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales obteniendo mayor precisión en la información generada a partir del ráster o shapefile con resoluciones más precisas de hasta 1m de resolución espacial.
2. Comparación de diseño hidráulico utilizando precipitaciones PISCO SENAMHI y precipitación obtenidas de estaciones interpoladas con métodos convencionales para determinar cuál de los productos optimizan recursos en diseño de estructuras hidráulicas.
3. Obtención de índices espectrales para la obtención de mapas de zonas inundables para la prevención de estabilidad de taludes, ya así evitar desastres y tener monitoreadas que taludes se encontrarían más vulnerables.

Referencias Bibliográficas

- Ali, S. y Shahbaz, M. (2020). Streamflow forecasting by modeling the rainfall–streamflow relationship using artificial neural networks. ©Springer Nature Switzerland AG 2020 (vid. pág. 132).
- Alvaro Aguilar, L. M. K. y Henriquez Fasanando, L. A. (2014). Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Chicama tramo puente Punta Moreno–pampas de Jagüey aplicando el programa River. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/683> (vid. pág. 132)
- Aparicio, F. (2004). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (LIMUSA, Ed.). (Vid. pág. 132).
- Arreguín Cortéz, F., Rosengaus Moshinsky, M., Acosta Godínez, A., Chávez Guillén, R., López Pérez, M., Hungsberg Engelmann, U., Dávila Capiterucho, A., Mejía Maravilla, E. y Rubio Gutiérrez, H. (2009). Manual para el control de inundaciones. *Magallanes J (com) Comisión Nacional del Agua. México.P*, 338. <https://drive.google.com/file/d/1JU07qudUVO-zJKNxTpcPsovAg6QhOBlu/view?usp=sharing> (vid. pág. 132)
- Basogain Olabe, X. (1998). *Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. Publicaciones de la Escuela de Ingenieros, Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, UPV*, 79 pp. (Vid. pág. 132).
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico* (Vol. 1). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. <https://drive.google.com/file/d/1clkrSDEIf3dV8qSH-S034KCADhSCI9cO/view?usp=sharing>. (Vid. pág. 132)
- Cartaya, S. y Mantuano, R. (2016). Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador. *Revista de investigación*, 40(89), 158-170. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000300009 (vid. pág. 132)
- Chen SM, T. I., Wang YM. (2013). Using artificial neural network approach for modelling rainfall–runoff due to typhoon. *J Earth* (vid. pág. 132).
- Chow, V., Maidment, D., Mays, L. y Saldarriaga, J. (1988). *APPLIED HYDROLOGY* (vid. págs. 6-11, 16-18, 20, 21, 25, 28, 30-37).
- Chow, V., Maidment, D., Mays, L. y Saldarriaga, J. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. (Vid. pág. 132).
- Figueredo, M. K. y Milena, A. S. (2015). *SOFTWARE DE APOYO PARA EL PROCESO DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE EN REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA UNIVERSIDAD LIBRE*. (Vid. pág. 22).

- Franco y Michael. (2010). Redes Neuronales artificiales. *Springer Series in Optical Sciences* (vid. pág. 132).
- García Celi, A. D. e Infante Arcaya, F. (2018). Determinación del caudal máximo para el diseño de defensa ribereña del sector Tamarindo, Río Tumbes 2018. <https://drive.google.com/file/d/1984csfZoTpBkXL2Y3UumB19YpnK7F4sH/view?usp=sharing> (vid. pág. 132)
- García Paredes, A. (2018). Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundaciones del río Balsayacu en el centro poblado de Balayacu, distrito de Campanilla, provincia de Mariscal Cáceres-Región San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2746/CIVIL%20-%20Andr%c3%a9s%20Garc%c3%ada%20Paredes.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (vid. pág. 132)
- Hernández, N. (2018). El río y su territorio.Espacio de libertad: Un concepto de gestión. *Terra. Nueva Etapa*, 34(56). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72157132006> (vid. pág. 132)
- INDECI. (2019). *Instituto Nacional de Defensa Civil*. (Vid. pág. 132).
- Jaafar, H., Ahmad, F. y aji Beyrouthy. (2019). GCN250,new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design (vid. pág. 79).
- Kim, T., Shin, J. Y., Kim, H. y Heo, J. H. (2020). Ensemble-based Neural Network Modeling for Hydrologic Forecasts: Addressing Uncertainty in the Model Structure and Input Variable Selection. <https://sci-hub.st/https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019WR026262> (vid. pág. 132)
- Kumar, N. y La, D. (2017). Applicability of HEC-RAS & GFMS tool for 1D water surface elevation/flood modeling of the river: a Case Study of River Yamuna at Allahabad (Sangam), India. *Springer International Publishing* (vid. pág. 13).
- Maccaferri. (2010). *Defensa Ribereña con Gaviones y Geosintéticos* (O. de textos (Brasil), Ed.; 1.^a ed.). <http://www.maccaferri.com/mx/download/brochure-mx-defensa-de-riosy-obrastransversales/?wpdmdl=5626..> (Vid. pág. 132)
- Mariño, W. y Ochoa, R. G. (2016). MODELAMIENTO DE ZONAS DE INUNDACIÓN POR MEDIO DE LAS HERRAMIENTAS HEC-RAS, GEO-RAS Y ARCGIS, PARA EL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE CORRALES- PAZ DE RIO A LO LARGO DEL RIO CHICAMOCHA, EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (vid. págs. 5, 19).
- Mehdizadeh, S. (2018). Using AR, MA, and ARMA Time Series Models to Improve the Performance of MARS and KNN Approaches in Monthly Precipitation Modeling under Limited Climatic Data.

- Springer. <https://sci-hub.st/https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-019-02442-1> (vid. pág. 132)
- Mejía, F., Mesa, O., Póveda, G., Vélez, J., Hoyos, C., Mantilla, R., Barco, J. y Cuartas, A. (1999). DISTRIBUCION Y CICLOS ANUAL Y SEMIANUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA. *Dyna*, 127. <https://bit.ly/3I3hBBg> (vid. pág. 132)
- Molina, M. y Seminario, E. (1973). Estudio hidrológico de la cuenca del río Santa. https://drive.google.com/file/d/1E9V0EJ-cLEgl6nV1Tv133OQ1_ZJ0pmEB/view?usp=sharing (vid. pág. 132)
- Moreno, A. R. y Fontalvo, J. A. P. (2017). Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Fríon municipios de Ciénaga y zona Bananera, departamento del Magdalena. *Revista Logos, Ciencia and Tecnologia*, 9(1), 156-178. <https://www.redalyc.org/pdf/5177/517754057016.pdf> (vid. pág. 132)
- Orellana Cabello, R. E. (2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. <https://doi.org/10.13140/2.1.4047.7762> (vid. pág. 6)
- Ornés, S., Parra, Y., Martínez, R. y Padrón, C. (2013). Áreas inundables como espacios publicos estructurantes de la ciudad. *Multiciencias*, 13(2), 122-131. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90428841003.pdf> (vid. pág. 132)
- Patel, D. P., Ramírez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M. y Han, D. (2019). Assessment of inundation risk in urban foods using HEC RAS 2D. *Springer Nature Switzerland AG 2019*. <https://sci-hub.st/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169470901137> (vid. pág. 5)
- Quiroga, L., Bohórquez, M. P. y Santa, L. F. (2020). MULTI TEMPORAL ANALYSIS OF THE PERU COLOMBIA FLUVIAL BORDER BY SATELLITE IMAGES ANALYSIS BASED ON GEOGRAPHICAL OBJECTS DURING THE PERIOD 1989-2015. *Perspectiva Geográfica*, 25(1), 77-98. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692020000100077 (vid. pág. 132)
- Rangari, V. A., V., U. N. y M., B. C. (2019). Assessment of inundation risk in urban foods using HEC RAS 2D. *Springer Nature Switzerland* (vid. págs. 13-15).
- Rao y Rao. (1996). C++ Neural Network and fuzzy logic, BPG ,New Delhi India 380-381. *SCI HUB* (vid. pág. 132).
- Rincón Villalba, M. y Cepeda Ariza, L. (2007). Control de Inundación del río Tunjuelito. *Revista de Topografía Azimut*, 1. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/4041/5706> (vid. pág. 132)

- Rojas, W. (2021). Evaluación del caudal máximo y erosión lateral del río achamayo para su mitigación, distrito de Chihuay, Huancayo-2018 (vid. pág. 132).
- Sampieri, R. H., Collado, C. F. y Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. G.-H. / Interamericana, Ed.; 6.ª ed.). (Vid. pág. 132).
- SENAMHI. (2021). *Servicio Nacional de Meteorología e HIDROLOGÍA*. (Vid. pág. 132).
- Socha, G. D. F. y Ortiz, H. G. A. (2005). *Aplicación de redes neuronales MLP a la predicción de un paso en series de tiempo. Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá, pp. 183.* (Vid. pág. 132).
- Verdú, J., Batalla, R. y Martinez Casasnovas, J. (2006). Estudio hidrológico de la cuenca del río Isábena(Cuenca del Ebro). I: Variabilidad de la precipitación. *Ingeniería del agua*, 13(4), 321-330. <https://drive.google.com/file/d/1-sUwtvSCDvQCxyX6gtBDwI0aEAdKKGtg/view?usp=sharing> (vid. pág. 132)
- Villón, M. (2007). *Hidráulica de Canales (2da ed.) Villón*. (Vid. págs. 32, 34, 132).
- Villón, M. (2013). HidroEsta, Software pra cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la hidrología. *Revista Digital Matemática*, 12(2), 1-8 (vid. pág. 132).
- Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología*. (Vid. pág. 132).
- Zhang, G. y Patuwo, E. (1998). *Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International Journal of Forecasting* 14, 35-62. (Vid. pág. 132).

“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”

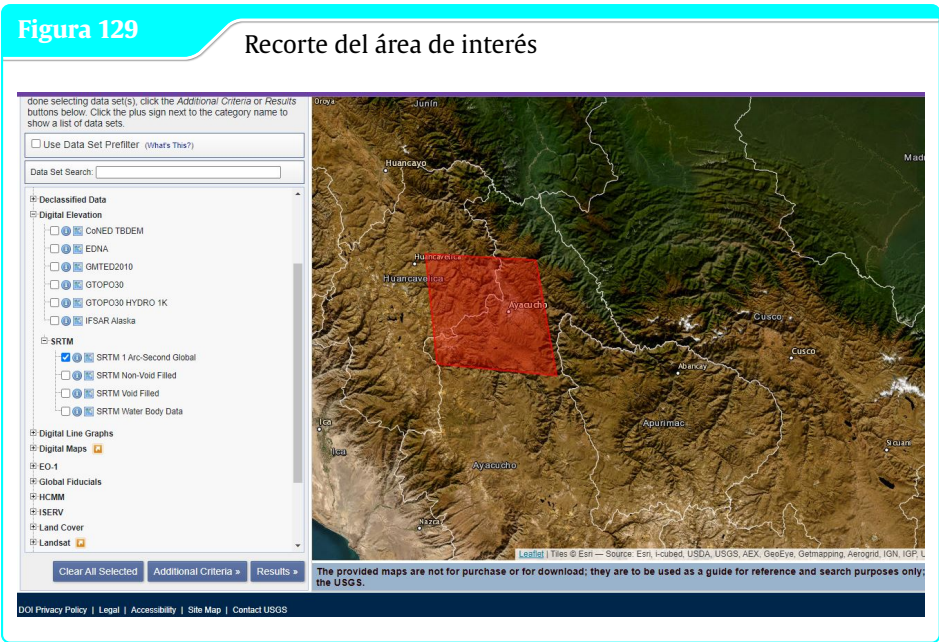
— David Hume

A Anexos

A.1 Descarga de modelo digital de terreno (DEM)



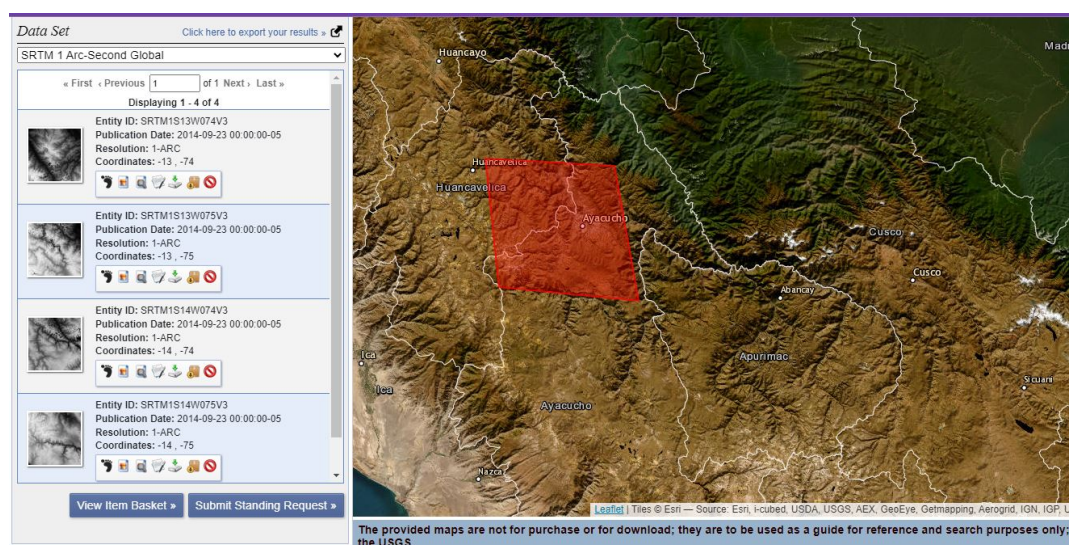
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 130

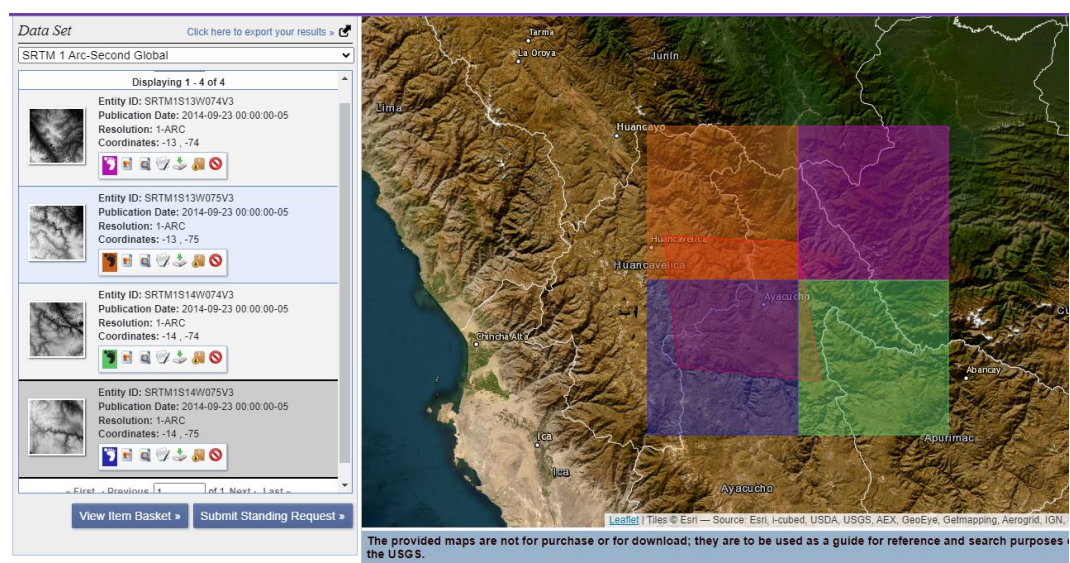
Elección del producto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 131

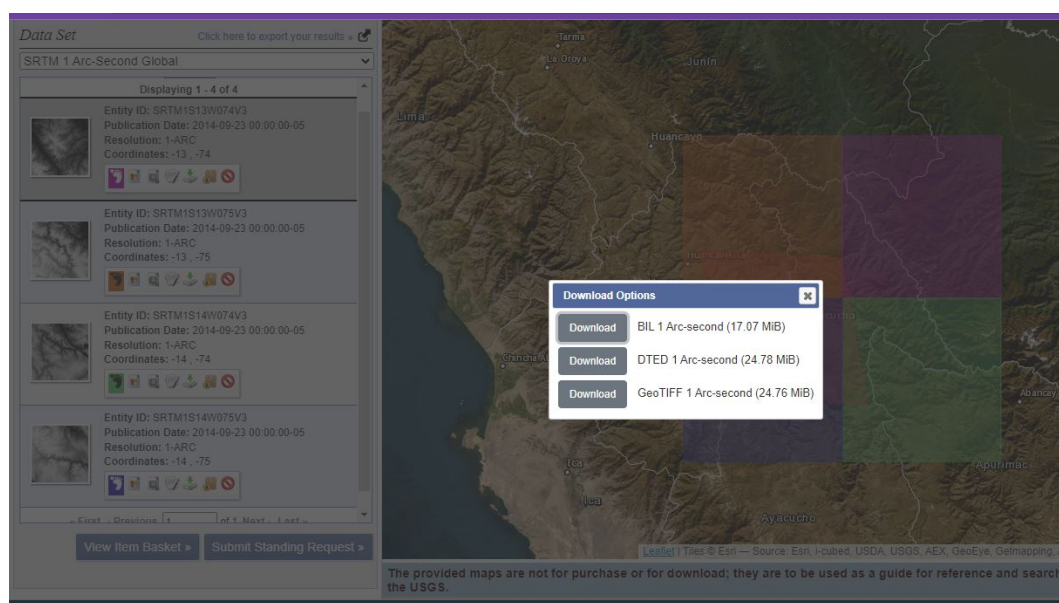
Elección de los cuadrantes para descargar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 132

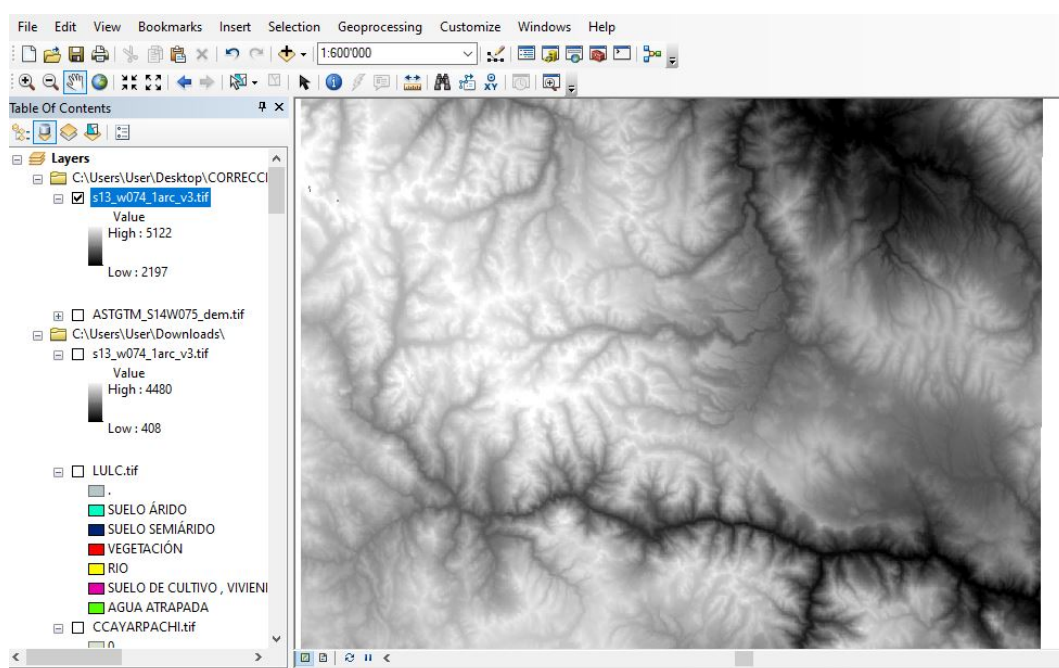
Servidor USGS para descarga de DEM



Fuente: Elaboración Propia

Figura 133

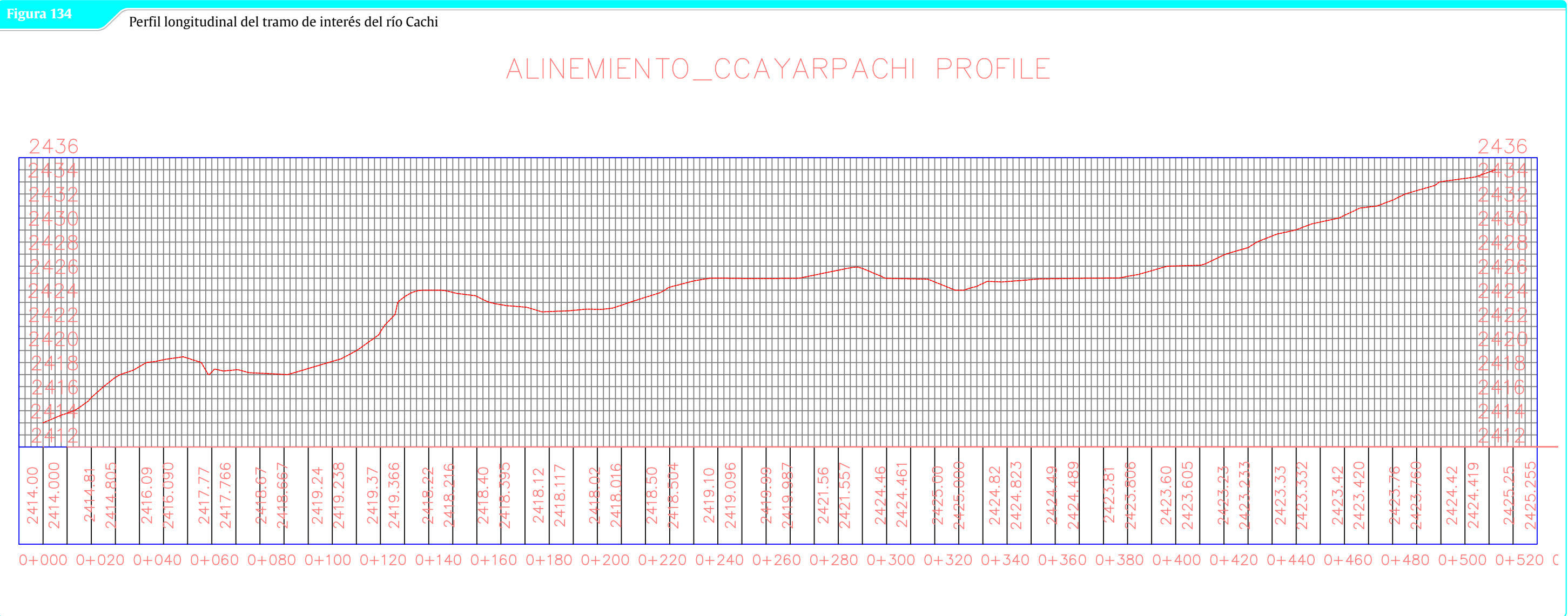
DEM para trabajar con ArcMap



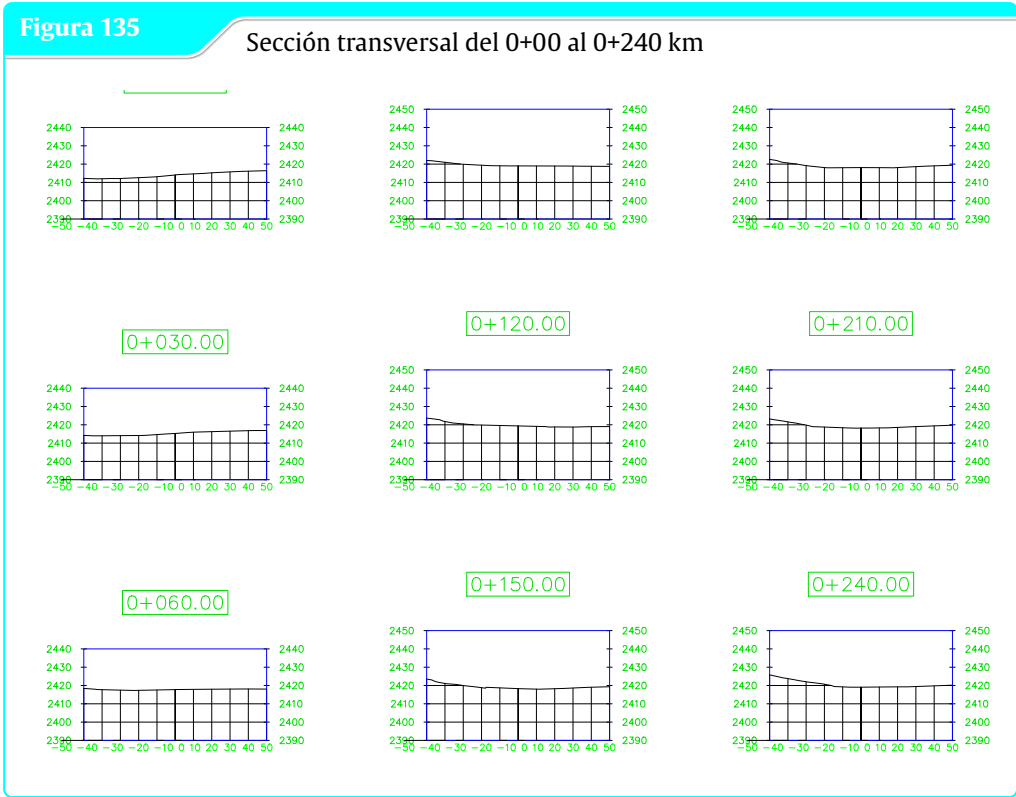
Fuente: Elaboración Propia

A.2 Perfil longitudinal y secciones transversales

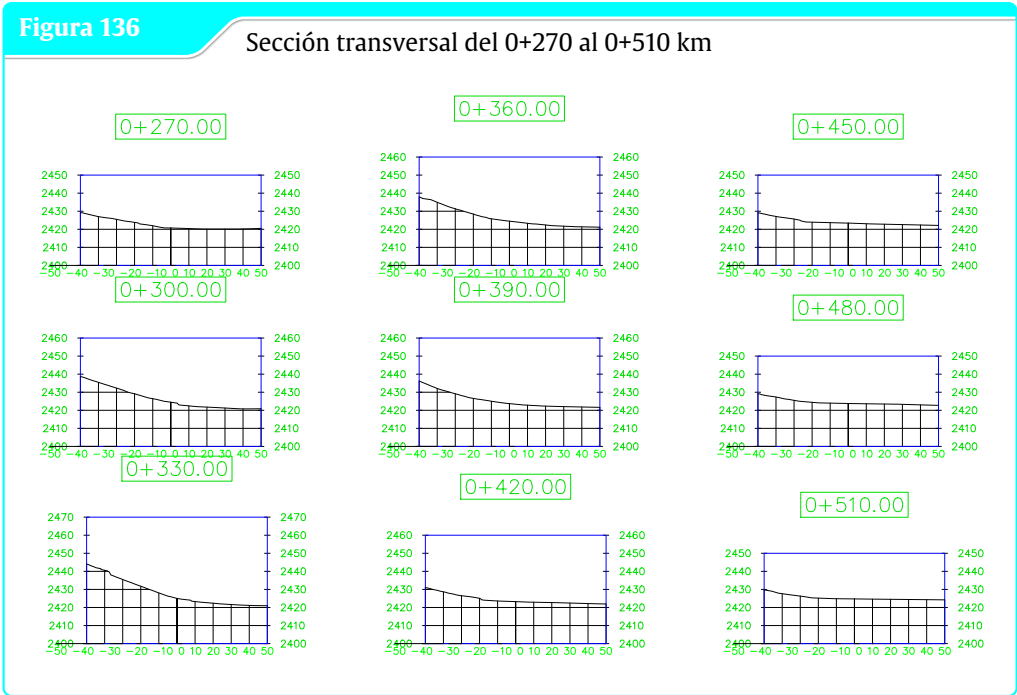
Como se muestra en la figura N°134 al 139 podemos observar el perfil longitudinal y las secciones por cada progresiva del río



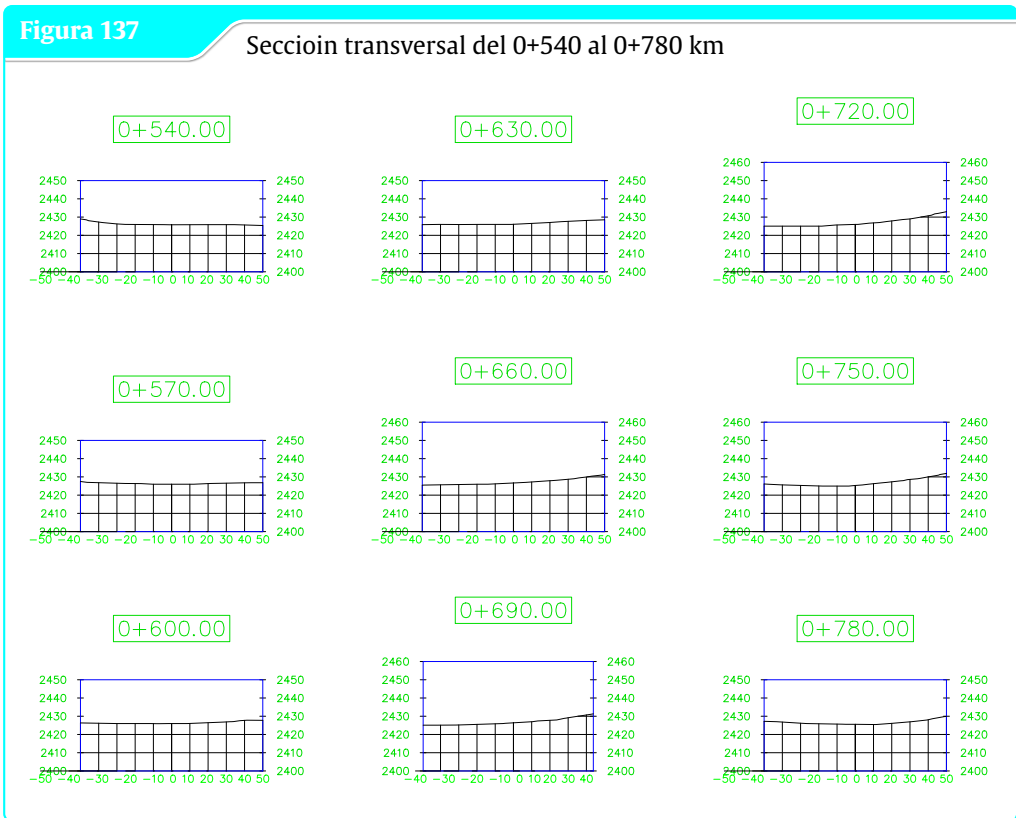
Fuente: Elaboración Propia con CIVIL 3D



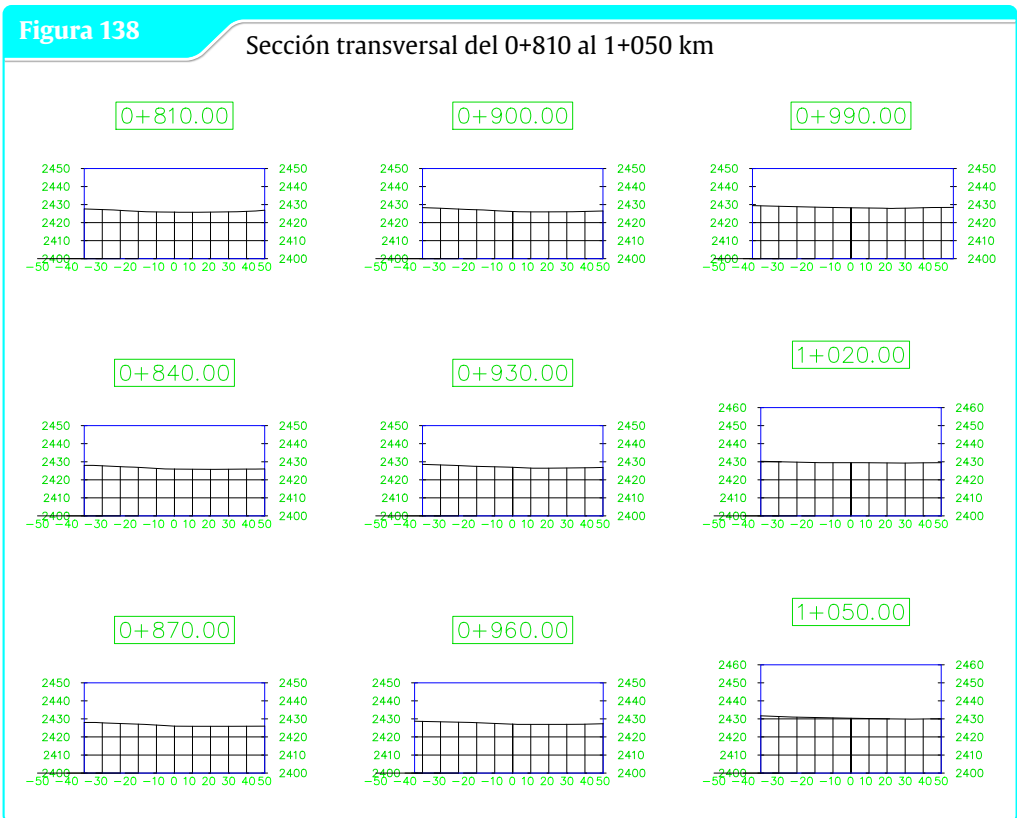
Fuente: Elaboracion Propia con CIVIL 3D



Fuente: Elaboración Propia con CIVIL 3D



Fuente: Elaboración Propia con CIVIL 3D



Fuente: Elaboración Propia con CIVIL 3D

Figura 139

Sección transversal del 1+080 al 1+170 km



Fuente: Elaboración Propia con CIVIL 3D

A.3 Código para abstracciones de precipitaciones PISCO SENAMHI

Figura 140

Código en RSTUDIO para precipitaciones PISCO SENAMHI

```

1  setwd("E:/PISCO_PD_MILAGROS")
2  rm(list = ls())
3  setwd("E:/PISCO_PD _MILAGROS")
4  getwd()
5  dev.off()
6  library(sp)
7  #library(readr)
8  #library(xts)
9  #library(astsa)
10 #library(readxl)
11 #library(utf8)
12 library(ncdf4)
13 library(raster)
14 library(lattice)
15 library(latticeExtra)
16 library(rgdal)
17
18 pacman::p_load(sp,ncdf4, raster, lattice,latticeEXTRA, rgdal, readxl,xts)
19
20 #library(readr)
21 #library(utf8)
22
23 #library(raster)
24
25 #library(rgeos)
26 #library(gtools)
27 #library( tidyverse)
28 #library( stars)
29 #library( sf)
30 #library( maptools)
31 Pisco.prec.brick <- brick("PISCOpd.nc")
32 Pisco.prec.brick
33 nlayers(Pisco.prec.brick)
34 spplot(Pisco.prec.brick[[1:12]])
35
36 #library(rgdal)
37 cuenca.wgs <- readOGR(dsn = ".", layer = "PROJ")
38 class(cuenca.wgs)

```

Fuente: Elaboración Propia con RSTUDIO

Figura 141

Código para precipitaciones PISCO SENAMHI

```

38 class(cuenca.wgs)
39 plot(cuenca.wgs, col="yellow", main="CUENCA DE CCAYARPACHI")
40 plot(cuenca.wgs, axes=T, asp=1, col="yellow", main="CUENCA DE CCAYARPACHI")
41 #####
42 pp.cuenca.mensual<- raster::extract(Pisco.prec.brick[[1]], cuenca.wgs, cellnumbers=TRUE)
43 data_long<- t(Pisco.prec.brick[pp.cuenca.mensual])
44
45 m <- extract(Pisco.prec.brick, cuenca.wgs, cellnumbers=TRUE, df=TRUE)
46 m
47 row.names(m) <- cuenca.wgs@data$NOMB_UN_N4
48
49 plot(m[,1], type="l", col="blue", ylim=c(0,250), ylab="prec.[mm]",
50      xlab="Meses", main="Prec. prome areal - cuenca Ccayarpachi [mm]")
51 write.csv(t(m), "MILAGROS3.csv")
52 view(pp.cuenca.mensual)
53 range(v)
54 lectura <- read.csv("PISCO_PROMEDIO.csv")
55 precipitación_mm <- ts(lectura$conteo, start = 1981-01-01, frequency = 365)
56 plot(precipitación_mm)
57
58 #####33
59 pp.cuenca.mensual<-extract(Pisco.prec.brick, cuenca.wgs, fun=max(month.abb))
60 pp.cuenca.mensual
61 row.names(pp.cuenca.mensual) <- cuenca.wgs@data$NOMB_UN_N4
62 view(pp.cuenca.mensual)
63 range(pp.cuenca.mensual)
64 plot(pp.cuenca.mensual[,1], type="l", col="blue", ylim=c(0,250), ylab="prec.[mm]",
65      xlab="Meses", main="Prec. prome areal - cuenca Pacobamba [mm]")
66
67 write.csv(t(pp.cuenca.mensual), "REOO.csv")
68 MILA.csv)
69 plot(Pisco.prec.brick[[1]])
70 plot(cuenca.wgs, add=T)

```

Fuente: Elaboración Propia con RSTUDIO

Figura 142

Código para precipitaciones PISCO SENAMHI

```

70 plot(cuenca.wgs, add=T)
71
72 r.CCAYARPACHI <- crop(Pisco.prec.brick[[1:12]], cuenca.wgs, snap="out")
73 plot(r.CCAYARPACHI)
74 r.CCAYARPACHI <- mask(r.CCAYARPACHI, cuenca.wgs)
75
76 names(r.CCAYARPACHI)
77 names(r.CCAYARPACHI)<- month.abb
78 plot(r.CCAYARPACHI)
79 projection(r.CCAYARPACHI)
80
81 library(lattice)
82 library(latticeExtra)
83
84 spplot(r.CCAYARPACHI, col.regions= terrain.colors(100))
85 spplot(r.CCAYARPACHI, col.regions= rev(terrain.colors(100)))
86 range(r.CCAYARPACHI)
87
88 spplot(r.CCAYARPACHI, col.regions=rev(terrain.colors(100)),
89 at= seq(0,320,5), scales=list(draw=TRUE))+
90 layer(sp.polygons(cuenca.wgs, lwd=1, col = 'darkgray'))
91
92
93 datos <- read.csv("REOO.csv")
94 datos
95 dat=datos[,2]
96 mdat=t(matrix(dat,nrow= 12))
97 mdat
98 length(mdat)
99 colnames(mdat)
100
101 colnames(mdat) <- c('ENE','FEB','MAR','ABR','MAY','JUN','JUL','AGO','SEP','OCT','NOV','DIC')
102
103 rownames(mdat) <- 1981:2016
104 # para que le asigne los años de la data
105 mdat
106 write.csv(mdat, 'MILAGROS.csv')

```

Fuente: Elaboración Propia con RSTUDIO

A.4 Puntos del levantamiento topográfico

Tabla 36: Puntos topográficos en coordenadas UTM

P	X	Y	Z	P	X	Y	Z
1	578688.73	8554794.94	2413.011	795	577473.296	8555019.18	2439.286
2	578672.053	8554787.07	2413.631	796	577471.388	8555016.45	2439.254
3	578653.758	8554778.44	2414.012	797	577468.366	8555017.83	2439.675
4	578635.749	8554762.55	2413.599	798	577466.851	8555021.53	2439.968
5	578620.738	8554744.35	2413.149	799	577465.97	8555016.54	2439.78
6	578604.281	8554727.32	2412.711	800	577465.062	8555019.13	2440.148
7	578587.611	8554714.45	2413.46	801	577468.562	8555012.66	2439.16
8	578575.084	8554704.49	2414.401	802	577469.344	8555015.24	2439.336
9	578551.436	8554684.91	2414.365	803	577469.503	8555021.7	2439.678
10	578521.952	8554659.44	2413.016	804	577465.702	8555027.58	2439.93
11	578498.714	8554641.95	2415.105	805	577465.702	8555027.58	2439.93
12	578477.508	8554625.99	2417.797	806	577461.135	8555030.1	2440.353
13	578454.285	8554615.52	2420.372	807	577463.237	8555027.15	2440.206
14	578420.113	8554600.57	2419.223	808	577460.342	8555023.43	2440.616
15	578394.865	8554589.53	2417.91	809	577458.094	8555024.87	2440.819
16	578363.53	8554575.82	2417.523	810	577455.066	8555024.09	2440.607
17	578341.325	8554566.11	2418.222	811	577454.862	8555026.89	2440.515
18	578325.216	8554559.06	2418.474	812	577459.986	8555022.07	2440.691
19	578305.875	8554552.02	2418.497	813	577459.413	8555018.48	2440.657
20	578286.568	8554544.99	2418.44	814	577457.24	8555021.5	2440.903
21	578265.087	8554537.18	2418.37	815	577462.168	8555022.13	2440.455
22	578248.977	8554531.31	2420.291	816	577466.116	8555024.78	2439.96
23	578233.314	8554525.61	2423.123	817	577469.846	8555024.91	2439.556
24	578212.085	8554520.39	2426.42	818	577457.694	8555032.7	2440.646
25	578199.388	8554521.83	2426.665	819	577456.424	8555031.77	2440.546
26	578184.961	8554523.48	2426.003	820	577453.784	8555030.79	2440.309
27	578171.67	8554524.99	2425.512	821	577451.063	8555027.19	2440.12
28	578159.274	8554526.4	2424.759	822	577449.524	8555030.35	2439.896
29	578148.979	8554527.58	2423.71	823	577447.351	8555033.3	2439.621
30	578130.42	8554529.69	2421.991	824	577454.884	8555034.43	2440.327
31	578114.605	8554534.43	2421.895	825	577451.882	8555032.14	2440.09

32	578101.715	8554538.29	2422.401	826	577451.314	8555035.02	2439.969
33	578080.583	8554544.62	2423.352	827	577448.977	8555038.18	2439.677
34	578063.142	8554549.85	2424.222	828	577447.988	8555036.75	2439.614
35	578040.274	8554558.88	2425.523	829	577445.592	8555035.42	2439.411
36	578019.647	8554569.82	2426.666	830	577443.615	8555033.32	2439.257
37	578009.677	8554575.11	2426.892	831	577441.793	8555036.1	2439.035
38	578030.735	8554563.94	2426.052	832	577443.735	8555037.82	2439.191
39	577994.82	8554583	2426.964	833	577444.337	8555039.82	2439.213
40	577981.142	8554590.26	2427.33	834	577446.117	8555038.77	2439.398
41	577960.118	8554601.41	2427.61	835	577443.951	8555035.95	2439.244
42	577937.972	8554609.97	2427.958	836	577449.383	8555032.34	2439.84
43	577912.083	8554619.97	2430.619	837	577446.517	8555031.01	2439.584
44	577889.565	8554628.67	2430.534	838	577452.191	8555029.9	2440.172
45	577873.854	8554634.74	2428.831	839	577448.923	8555035.55	2439.727
46	577852.977	8554644.61	2426.965	840	577440.636	8555041.6	2438.843
47	577829.755	8554655.58	2424.458	841	577439.032	8555038.4	2438.74
48	577813.131	8554663.43	2424.891	842	577435.839	8555037.45	2438.451
49	577798.559	8554670.32	2425.031	843	577434.719	8555039.66	2438.322
50	577788.199	8554675.22	2425.087	844	577437.496	8555042.86	2438.54
51	577778.473	8554685.68	2425.001	845	577435.016	8555045.07	2438.292
52	577769.741	8554701.15	2425.167	846	577432.342	8555045.17	2438.053
53	577762.928	8554713.22	2425.16	847	577431.908	8555041.06	2438.049
54	577754.999	8554727.27	2425.249	848	577430.41	8555042.26	2437.903
55	577744.713	8554745.5	2426.23	849	577434.87	8555043.3	2438.298
56	577737.191	8554758.82	2426.949	850	577438.274	8555035.82	2438.703
57	577730.074	8554771.43	2427.104	851	577428.948	8555047.75	2437.734
58	577722.442	8554784.95	2427.084	852	577428.663	8555046.32	2437.719
59	577716.706	8554800.23	2427.214	853	577425.76	8555048.38	2437.454
60	577712.024	8554812.69	2428.013	854	577426.966	8555043.45	2437.583
61	577707.274	8554825.34	2428.824	855	577424.146	8555041.97	2437.333
62	577701.522	8554840.65	2429.645	856	577423.448	8555043.84	2437.265
63	577696.471	8554854.09	2430.038	857	577421.578	8555046.34	2437.094
64	577691.599	8554867.06	2430.228	858	577423.174	8555046.48	2437.234
65	577689.054	8554877.15	2430.237	859	577423.228	8555049.06	2437.233
66	577686.15	8554888.65	2430.002	860	577421.338	8555049.53	2437.07
67	577683.526	8554899.04	2429.579	861	577419.004	8555048.31	2436.947

68	577680.683	8554910.3	2429.13	862	577417.087	8555050.8	2436.861
69	577678.433	8554919.22	2429.652	863	577423.567	8555052.74	2437.254
70	577668.954	8554927.51	2430.205	864	577420.1	8555054.38	2436.979
71	577658.569	8554935.4	2430.634	865	577415.5	8555053.58	2436.766
72	577650.949	8554941.13	2430.871	866	577419.197	8555050.17	2436.948
73	577642.638	8554947.38	2431.241	867	577415.677	8555049.75	2436.815
74	577633.865	8554953.97	2431.951	868	577414.181	8555051.62	2436.732
75	577626.619	8554959.41	2432.537	869	577415.858	8555047.5	2436.845
76	577618.09	8554962.59	2432.878	870	577418.008	8555044.62	2436.932
77	577609.655	8554965.74	2433.215	871	577418.008	8555044.62	2436.932
78	577599.251	8554969.62	2433.895	872	577419.42	8555046.06	2436.967
79	577589.476	8554973.38	2434.605	873	577421.033	8555052.56	2437.042
80	577581.665	8554976.51	2435.145	874	577418.317	8555054.34	2436.893
81	577574.094	8554979.55	2435.635	875	577427.943	8555040.86	2437.686
82	577558.105	8554985.96	2436.073	876	577428.747	8555043.06	2437.746
83	577538.744	8554988.47	2436.603	877	577430.49	8555045.35	2437.886
84	577521.441	8554992.78	2436.802	878	577434.324	8555040.94	2438.272
85	577503.462	8555001.87	2436.88	879	577436.479	8555039.69	2438.485
86	577481.3	8555013.08	2438.14	880	577431.316	8555038.94	2438.012
87	577458.256	8555027.62	2440.729	881	577429.959	8555040.38	2437.875
88	577441.626	8555038.79	2438.978	882	577426.019	8555045.95	2437.487
89	577425.296	8555046.28	2437.422	883	577407.097	8555062.52	2435.876
90	577411.332	8555058.65	2436.373	884	577408.688	8555072.39	2435.238
91	577395.757	8555072.86	2434.662	885	577403.102	8555066.16	2435.429
92	577376.633	8555082.37	2433.808	886	577407.143	8555067.39	2435.53
93	577363.218	8555089.05	2433.81	887	577407.143	8555067.39	2435.53
94	577345.255	8555097.61	2434.31	888	577404.09	8555070.2	2435.196
95	577317.237	8555109.93	2436.055	889	577401.324	8555062.45	2435.595
96	577294.686	8555117.33	2437.065	890	577398.271	8555065.58	2435.24
97	577273.316	8555124.33	2437.199	891	577395.747	8555068.93	2434.91
98	577251.457	8555131.49	2438.089	892	577397.521	8555061.6	2435.461
99	577229.347	8555145.05	2439.557	893	577402.473	8555058.14	2435.945
100	577208.14	8555158.06	2440.935	894	577406.799	8555057.7	2436.204
101	577187.885	8555170.48	2441.657	895	577407.739	8555054.14	2436.389
102	577170.519	8555188.45	2440.594	896	577412.175	8555054.78	2436.589
103	577156.19	8555203.28	2440.15	897	577409.5	8555060.33	2436.155

104	577142.658	8555217.28	2440.158	898	577404.695	8555060.18	2435.92
105	577131.511	8555229.42	2440.131	899	577404.422	8555064.96	2435.574
106	577117.494	8555245.79	2440.591	900	577400.095	8555068.9	2435.106
107	577105.083	8555260.28	2441.927	901	577401.032	8555071.18	2434.996
108	577092.65	8555276.13	2443.267	902	577401.148	8555074.94	2434.748
109	577084.801	8555288.24	2443.797	903	577404.836	8555072.67	2435.056
110	577075.079	8555303.23	2443.479	904	577410.209	8555068.89	2435.56
111	577070.368	8555319.66	2443.114	905	577412.627	8555065.33	2435.937
112	577062.025	8555337.52	2443.752	906	577413.565	8555061.13	2436.301
113	577048.707	8555351.95	2443.939	907	577410.3	8555063.72	2435.945
114	578682.147	8554791.83	2413.224	908	577414.824	8555058.65	2436.555
115	578689.745	8554773.7	2412.867	909	577416.729	8555060.15	2436.537
116	578674.621	8554810.54	2414.547	910	577414.824	8555058.65	2436.555
117	578672.959	8554787.5	2413.601	911	577409.433	8555055.65	2436.434
118	578666.454	8554784.43	2413.797	912	577398.271	8555065.58	2435.24
119	578670.48	8554763.95	2413.159	913	577392.582	8555069.58	2434.728
120	578654.415	8554752.54	2412.875	914	577394.678	8555064.19	2435.157
121	578665.625	8554775.92	2413.57	915	577397.841	8555070.96	2434.873
122	578657.529	8554768.68	2413.485	916	577395.981	8555077	2434.409
123	578649.44	8554763.85	2413.359	917	577391.242	8555080.89	2433.992
124	578675.615	8554780.9	2413.378	918	577392.396	8555078.41	2434.184
125	578687.348	8554786.52	2412.975	919	577389.944	8555075.75	2434.248
126	578697.812	8554791.5	2412.678	920	577392.582	8555069.58	2434.728
127	578689.455	8554803.63	2413.679	921	577389.528	8555071.96	2434.453
128	578673.912	8554794.47	2413.7	922	577386.745	8555077.34	2434.03
129	578682.314	8554798	2413.511	923	577384.594	8555081.77	2433.703
130	578666.931	8554789.65	2413.927	924	577383.627	8555075.75	2433.996
131	578659.159	8554784.82	2414.1	925	577381.799	8555079.8	2433.807
132	578650.6	8554781.78	2414.283	926	577377.408	8555078.89	2433.975
133	578642.199	8554778.57	2414.236	927	577378.241	8555074.79	2434.173
134	578638.384	8554773.42	2414.04	928	577383.407	8555072.52	2434.162
135	578632.664	8554766.33	2413.828	929	577375.584	8555084.85	2433.702
136	578625.523	8554760.69	2413.764	930	577379.57	8555084.31	2433.624
137	578620.758	8554755.7	2413.69	931	577374.634	8555080.98	2433.937
138	578615.514	8554748.93	2413.476	932	577371.447	8555081.85	2433.976
139	578612.329	8554742.8	2413.212	933	577374.44	8555078.44	2434.079

140	578609.305	8554737.32	2412.997	934	577379.598	8555077.47	2433.992
141	578620.858	8554735.35	2412.719	935	577382.098	8555082.58	2433.649
142	578628.316	8554740.98	2412.875	936	577373.291	8555087.06	2433.645
143	578634.675	8554749.84	2413.114	937	577371.187	8555089.65	2433.562
144	578640.714	8554757.58	2413.247	938	577367.297	8555091.14	2433.587
145	578648.351	8554770.32	2413.726	939	577368.942	8555087.2	2433.755
146	578658.341	8554775.62	2413.756	940	577367.609	8555085.26	2433.896
147	578666.272	8554780.6	2413.691	941	577364.702	8555085.93	2433.938
148	578682.277	8554785.08	2413.175	942	577363.206	8555087.61	2433.887
149	578677.972	8554774.76	2413.22	943	577366.432	8555087.45	2433.809
150	578615.863	8554732.56	2412.63	944	577366.902	8555083.97	2433.984
151	578613.213	8554728.8	2412.454	945	577365.167	8555084.16	2434.021
152	578608.158	8554733.02	2412.821	946	577370.183	8555083	2433.948
153	578602.661	8554730.02	2412.892	947	577369.906	8555084.63	2433.868
154	578608.033	8554726.02	2412.486	948	577368.778	8555083.62	2433.952
155	578610.15	8554728.06	2412.495	949	577371.319	8555086.54	2433.727
156	578605.31	8554733.78	2412.955	950	577368.604	8555088.79	2433.678
157	578606.064	8554728.69	2412.697	951	577364.927	8555090.73	2433.673
158	578604.431	8554721.4	2412.448	952	577361.977	8555092.7	2433.646
159	578602.038	8554725.59	2412.74	953	577366.566	8555089.58	2433.691
160	578598.112	8554726.48	2412.95	954	577361.169	8555088.92	2433.872
161	578595.92	8554720.86	2412.874	955	577362.771	8555091.5	2433.689
162	578597.558	8554717.32	2412.848	956	577358.65	8555094.05	2433.665
163	578593.964	8554715.61	2413.088	957	577359.217	8555091.47	2433.787
164	578589.969	8554721.33	2413.198	958	577358.309	8555089.65	2433.91
165	578594.623	8554724.66	2413.053	959	577356.483	8555090.9	2433.892
166	578584.15	8554716.82	2413.583	960	577357.749	8555090.7	2433.868
167	578587.849	8554718.11	2413.349	961	577359.007	8555087.73	2433.994
168	578591.636	8554713.79	2413.262	962	577361.302	8555086.1	2434.021
169	578589.411	8554710.67	2413.465	963	577359.717	8555089.74	2433.867
170	578586.665	8554710.25	2413.624	964	577355.959	8555088.22	2434.05
171	578584.331	8554711.91	2413.705	965	577354.515	8555091.67	2433.903
172	578581.399	8554714.57	2413.791	966	577356.483	8555090.9	2433.892
173	578585.663	8554712.94	2413.605	967	577356.445	8555094.06	2433.724
174	578594.587	8554712.06	2413.15	968	577355.98	8555092.9	2433.797
175	578601.999	8554720	2412.538	969	577354.244	8555093.66	2433.803

176	578598.688	8554723	2412.803	970	577351.699	8555091.44	2433.992
177	578601.055	8554722.05	2412.649	971	577352.501	8555093.16	2433.877
178	578621.443	8554739.92	2412.928	972	577353.103	8555090.09	2434.026
179	578627.229	8554745.22	2413.074	973	577355.305	8555089.08	2434.021
180	578630.262	8554747.87	2413.127	974	577358.459	8555092.81	2433.735
181	578623.59	8554752.55	2413.474	975	577360.428	8555092.27	2433.711
182	578619.367	8554752.28	2413.559	976	577361.309	8555090.55	2433.78
183	578630.838	8554752.24	2413.292	977	577352.514	8555097.61	2434.1
184	578631.32	8554760.98	2413.635	978	577354.573	8555095.83	2433.907
185	578635.461	8554757.02	2413.363	979	577353.587	8555095.55	2433.913
186	578641.106	8554762.25	2413.462	980	577355.461	8555094.39	2433.775
187	578643.509	8554765.97	2413.592	981	577349.745	8555097.38	2434.163
188	578637.747	8554768.86	2413.842	982	577350.499	8555095.31	2433.98
189	578635.417	8554766.28	2413.771	983	577350.345	8555093.79	2433.902
190	578631.96	8554763.2	2413.712	984	577348.19	8555094.89	2434.01
191	578642.719	8554760.45	2413.336	985	577348.09	8555092.5	2434.032
192	578645.47	8554762.74	2413.386	986	577349.172	8555093.84	2433.93
193	578645.557	8554768.48	2413.679	987	577350.34	8555092.11	2433.992
194	578641.486	8554772.29	2413.94	988	577348.339	8555097.62	2434.223
195	578641.424	8554775.31	2414.086	989	577346.832	8555095.76	2434.117
196	578643.533	8554774.44	2414.015	990	577347.111	8555096.8	2434.193
197	578646.062	8554772.86	2413.897	991	577345.52	8555096.15	2434.184
198	578639.79	8554769.86	2413.852	992	577345.14	8555094.76	2434.082
199	578578.206	8554707.07	2414.164	993	577346.967	8555093.75	2433.995
200	578583.018	8554705.11	2413.958	994	577343.316	8555096.73	2434.29
201	578579.285	8554711.89	2413.977	995	577342.427	8555098.86	2434.487
202	578583.543	8554708.19	2413.847	996	577344.216	8555099.88	2434.522
203	578578.81	8554710.12	2414.05	997	577347.263	8555098.92	2434.359
204	578575.052	8554708.36	2414.299	998	577345.106	8555099.16	2434.44
205	578576.745	8554709.79	2414.169	999	577343.553	8555098.36	2434.416
206	578576.41	8554707.21	2414.257	1000	577342.051	8555097.26	2434.367
207	578573.876	8554707.21	2414.349	1001	577341.934	8555100.26	2434.614
208	578573.496	8554705.35	2414.394	1002	577339.936	8555101.32	2434.753
209	578571.29	8554705.16	2414.375	1003	577340.216	8555099.83	2434.624
210	578572.581	8554702.42	2414.459	1004	577341.217	8555101.09	2434.7
211	578575.22	8554701.23	2414.481	1005	577341.246	8555100.07	2434.617

212	578576.772	8554702.8	2414.356	1006	577341.053	8555098.29	2434.477
213	578577.622	8554704.71	2414.259	1007	577339.678	8555098.83	2434.558
214	578579.497	8554704.04	2414.176	1008	577338.241	8555099.41	2434.643
215	578581.146	8554706.71	2414.016	1009	577337.368	8555100.34	2434.741
216	578577.962	8554708.88	2414.129	1010	577338.154	8555101.84	2434.842
217	578581.865	8554711.98	2413.836	1011	577338.84	8555101.13	2434.767
218	578584.017	8554709.72	2413.781	1012	577335.969	8555103.09	2435.001
219	578572.681	8554699.32	2414.54	1013	577336.321	8555101.54	2434.867
220	578570.437	8554702.15	2414.438	1014	577334.931	8555101.05	2434.864
221	578569.972	8554703.78	2414.393	1015	577335.491	8555099.99	2434.763
222	578568.045	8554702.3	2414.403	1016	577336.52	8555098.94	2434.65
223	578571.084	8554698.8	2414.529	1017	577337.798	8555097.63	2434.51
224	578573.202	8554700.99	2414.504	1018	577338.956	8555097.81	2434.494
225	578566.303	8554700.1	2414.427	1019	577339.955	8555096.92	2434.395
226	578563.676	8554700.21	2414.386	1020	577341.172	8555096.15	2434.3
227	578564.513	8554697.67	2414.448	1021	577338.712	8555099.79	2434.661
228	578568.496	8554695.93	2414.553	1022	577336.999	8555102.35	2434.914
229	578568.969	8554697.56	2414.524	1023	577333.838	8555101.91	2434.963
230	578569.308	8554701.05	2414.448	1024	577333.897	8555100.54	2434.85
231	578567.947	8554701.01	2414.43	1025	577333.968	8555103.6	2435.097
232	578565.791	8554701.59	2414.388	1026	577334.481	8555102.35	2434.981
233	578563.055	8554696.43	2414.448	1027	577334.771	8555099.93	2434.777
234	578562.309	8554698.2	2414.403	1028	577333.133	8555104.34	2435.178
235	578561.133	8554696.91	2414.406	1029	577332.812	8555103.97	2435.157
236	578559.857	8554693.85	2414.435	1030	577331.548	8555104.31	2435.219
237	578561.549	8554694.76	2414.451	1031	577331.627	8555102.84	2435.097
238	578564.782	8554693.31	2414.54	1032	577331.101	8555103.36	2435.153
239	578567.271	8554694.31	2414.567	1033	577332.391	8555102.48	2435.047
240	578566.195	8554695.32	2414.525	1034	577333.211	8555102.32	2435.013
241	578563.09	8554692.27	2414.526	1035	577333.533	8555103.26	2435.08
242	578561.352	8554691.46	2414.505	1036	577332.325	8555103.8	2435.156
243	578558.495	8554693.19	2414.419	1037	577331.878	8555103.18	2435.118
244	578551.029	8554690.28	2414.301	1038	577332.957	8555103.02	2435.076
245	578555.146	8554690.59	2414.386	1039	577331.9	8555103.49	2435.142
246	578559.147	8554686.92	2414.531	1040	577330.916	8555103.92	2435.203
247	578556.18	8554682.94	2414.453	1041	577335.172	8555102.84	2435.003

248	578555.449	8554685.53	2414.46	1042	577335.671	8555102.29	2434.945
249	578550.893	8554679.84	2413.945	1043	577335.377	8555101.47	2434.886
250	578548.78	8554678.87	2413.781	1044	577336.126	8555100.88	2434.818
251	578547.423	8554684.26	2414.267	1045	577334.487	8555101.61	2434.921
252	578542.027	8554680.08	2413.754	1046	577333.32	8555101.57	2434.949
253	578547.645	8554688.14	2414.243	1047	577332.737	8555102.03	2435.001
254	578542.149	8554685.57	2414.124	1048	577334.45	8555103	2435.035
255	578545.67	8554680	2413.836	1049	577336.723	8555100.92	2434.806
256	578544.86	8554673.93	2413.127	1050	577337.351	8555101.63	2434.846
257	578537.16	8554676	2413.2	1051	577338.311	8555100.67	2434.743
258	578536.855	8554679.99	2413.65	1052	577338.114	8555101.15	2434.787
259	578538.763	8554682.99	2413.992	1053	577334.754	8555102.59	2434.993
260	578542.633	8554670.49	2412.697	1054	577333.621	8555102.73	2435.035
261	578537.874	8554667.28	2412.263	1055	577333.229	8555102.9	2435.059
262	578533.245	8554672.57	2413.131	1056	577332.434	8555102.83	2435.075
263	578530.094	8554678.17	2413.894	1057	577330.332	8555105.02	2435.308
264	578528.916	8554672.15	2413.427	1058	577331.459	8555105.21	2435.294
265	578525.316	8554668.39	2413.398	1059	577331.249	8555104.8	2435.266
266	578525.316	8554668.39	2413.398	1060	577329.778	8555105.49	2435.361
267	578533.638	8554662.44	2412.083	1061	577329.707	8555104.92	2435.317
268	578529.933	8554658.9	2412.122	1062	577328.375	8555105.97	2435.438
269	578522.456	8554664.95	2413.383	1063	577328.832	8555105.35	2435.375
270	578525.334	8554674.74	2413.92	1064	577328.068	8555105.62	2435.417
271	578528.8	8554668.59	2413.116	1065	577327.578	8555104.46	2435.336
272	578539.469	8554671.36	2412.736	1066	577328.565	8555104.29	2435.296
273	578539.91	8554678.04	2413.478	1067	577328.911	8555103.6	2435.231
274	578541.457	8554665.33	2412.102	1068	577329.496	8555104.07	2435.253
275	578534.175	8554665.89	2412.38	1069	577329.786	8555103.53	2435.202
276	578527.594	8554663.74	2412.795	1070	577330.476	8555104.11	2435.231
277	578534.998	8554658.35	2411.524	1071	577330.467	8555103.29	2435.164
278	578545.277	8554676.3	2413.405	1072	577330.162	8555103.8	2435.214
279	578542.737	8554674.11	2413.103	1073	577329.051	8555104.07	2435.265
280	578534.394	8554676.71	2413.466	1074	577328.451	8555105	2435.357
281	578544.031	8554683.43	2414.182	1075	577329.051	8555104.74	2435.32
282	578550.283	8554687.82	2414.308	1076	577329.138	8555105.43	2435.374
283	578552.754	8554682.31	2414.286	1077	577329.307	8555106.08	2435.422

284	578559.234	8554684.63	2414.57	1078	577327.926	8555105.23	2435.39
285	578553.852	8554689.01	2414.378	1079	577327.316	8555105	2435.387
286	578560.749	8554689.46	2414.527	1080	577327.968	8555104.64	2435.34
287	578513.475	8554660.04	2413.947	1081	577326.649	8555105.1	2435.413
288	578522.799	8554653.55	2412.472	1082	577327.166	8555106.05	2435.476
289	578517.72	8554649.2	2412.787	1083	577327.596	8555105.76	2435.441
290	578508.871	8554655.53	2414.217	1084	577327.5	8555106.33	2435.49
291	578511.245	8554651.38	2413.73	1085	577326.778	8555106.67	2435.537
292	578512.634	8554642.59	2413.36	1086	577326.569	8555106.36	2435.517
293	578522.933	8554645.31	2411.946	1087	577326.307	8555105.95	2435.49
294	578508.871	8554655.53	2414.217	1088	577326.911	8555105.68	2435.453
295	578501.418	8554651.83	2414.958	1089	577327.404	8555105.46	2435.422
296	578508.358	8554642.45	2413.912	1090	577326.219	8555105.34	2435.444
297	578504.222	8554635.67	2414.483	1091	577325.581	8555105.84	2435.501
298	578489.836	8554643.47	2415.876	1092	577324.719	8555105.94	2435.532
299	578488.716	8554639.27	2416.075	1093	577325.385	8555105.33	2435.465
300	578499.307	8554633.26	2415.059	1094	577325.886	8555105.65	2435.478
301	578494.556	8554632.79	2415.584	1095	577325.967	8555104.85	2435.41
302	578481.891	8554633.64	2416.952	1096	577326.481	8555104.56	2435.374
303	578481.592	8554639.78	2416.742	1097	577326.967	8555104.52	2435.357
304	578490.005	8554628.61	2416.176	1098	577326.941	8555105.24	2435.416
305	578488.032	8554627.75	2416.433	1099	577325.904	8555106.12	2435.516
306	578484.787	8554625.11	2416.913	1100	577325.778	8555106.83	2435.576
307	578483.668	8554627.55	2416.971	1101	577326.459	8555106.93	2435.566
308	578483.156	8554630.24	2416.936	1102	577325.821	8555107.37	2435.619
309	578488.186	8554634.03	2416.257	1103	577325.25	8555106.97	2435.602
310	578492.095	8554636.97	2415.787	1104	577325.708	8555106.53	2435.554
311	578496.432	8554636.92	2415.348	1105	577326.042	8555106.63	2435.553
312	578502.35	8554639.27	2414.693	1106	577325.171	8555106.44	2435.561
313	578503.191	8554645.32	2414.562	1107	577324.605	8555106.69	2435.596
314	578507.905	8554648.87	2414.03	1108	577324.571	8555107.52	2435.664
315	578509.689	8554646.5	2413.685	1109	577324.875	8555107.03	2435.617
316	578506.036	8554647.46	2414.214	1110	577325.21	8555107.46	2435.642
317	578499.271	8554645.24	2415.051	1111	577324.9	8555106.14	2435.543
318	578496.392	8554647.61	2415.305	1112	577324.373	8555106.41	2435.58
319	578493.569	8554644.46	2415.537	1113	577324.01	8555105.87	2435.546

320	578487.776	8554636.65	2416.233	1114	577324.703	8555105.29	2435.48
321	578490.296	8554632.05	2416.07	1115	577324.316	8555105.86	2435.536
322	578458.456	8554623.57	2419.843	1116	577324.703	8555105.29	2435.48
323	578465.072	8554611.68	2420.434	1117	577325.191	8555105.77	2435.506
324	578467.732	8554628.14	2418.875	1118	577323.921	8555107.69	2435.696
325	578472.364	8554623.43	2418.595	1119	577323.99	8555107.35	2435.666
326	578445.851	8554617.3	2420.118	1120	577322.88	8555108.01	2435.749
327	578448.664	8554604.46	2420.384	1121	577323.226	8555107.65	2435.711
328	578442.196	8554610.23	2420.426	1122	577323.039	8555107.38	2435.694
329	578429.214	8554613.48	2419.982	1123	577322.127	8555107.37	2435.717
330	578435.477	8554607.29	2420.115	1124	577322.64	8555106.99	2435.672
331	578430.118	8554597.24	2419.209	1125	577323.446	8555106.73	2435.63
332	578428.614	8554604.29	2419.677	1126	577323.194	8555106.1	2435.586
333	578438.44	8554600.61	2419.792	1127	577322.987	8555106.5	2435.624
334	578419.458	8554606.96	2419.763	1128	577323.155	8555107.03	2435.662
335	578415.122	8554585.65	2417.871	1129	577323.765	8555106.64	2435.615
336	578409.949	8554603.84	2419.454	1130	577323.529	8555107.17	2435.663
337	578416.333	8554593.89	2418.613	1131	577322.592	8555107.58	2435.722
338	578430.118	8554597.24	2419.209	1132	577322.226	8555108.06	2435.771
339	578423.039	8554613.49	2419.898	1133	577321.998	8555107.84	2435.759
340	578439.931	8554623.62	2419.72	1134	577321.475	8555107.75	2435.766
341	578452.054	8554627.22	2419.562	1135	577321.529	8555107.24	2435.723
342	578435.639	8554617.58	2419.947	1136	577321.917	8555106.85	2435.68
343	578406.338	8554586.89	2417.833	1137	577322.305	8555106.5	2435.642
344	578393.735	8554581.35	2417.045	1138	577321.727	8555108.26	2435.8
345	578387.549	8554577.74	2416.55	1139	577321.311	8555108.76	2435.852
346	578376.657	8554589.16	2418.102	1140	577320.77	8555109.13	2435.896
347	578389.023	8554594.94	2418.403	1141	577319.839	8555109.25	2435.93
348	578397.12	8554602.42	2419.251	1142	577319.503	8555108.44	2435.874
349	578381.196	8554598.35	2418.871	1143	577320.086	8555108.1	2435.831
350	578366.677	8554587.49	2418.271	1144	577320.558	8555107.97	2435.808
351	578373.674	8554580.26	2417.413	1145	577320.946	8555107.47	2435.757
352	578367.086	8554564.47	2417.09	1146	577320.487	8555107.45	2435.767
353	578376.836	8554568.56	2416.64	1147	577320.029	8555107.79	2435.807
354	578392.277	8554569.97	2416.203	1148	577319.613	8555108.17	2435.849
355	578403.463	8554578.18	2416.941	1149	577319.968	8555108.73	2435.885

356	578387.12	8554586.14	2417.469	1150	577320.641	8555108.44	2435.843
357	578370.972	8554594.5	2418.718	1151	577321.086	8555107.93	2435.79
358	578356.207	8554580.49	2418.174	1152	577321.035	8555108.26	2435.819
359	578355.755	8554588.73	2418.7	1153	577320.644	8555108.83	2435.875
360	578348.596	8554576.88	2418.324	1154	577320.172	8555108.99	2435.901
361	578344.812	8554582.46	2418.829	1155	577320.031	8555108.38	2435.855
362	578353.788	8554565.24	2417.658	1156	577322.237	8555107.01	2435.686
363	578369.96	8554572.7	2416.963	1157	577322.338	8555108.36	2435.792
364	578349.729	8554557.74	2417.618	1158	577321.936	8555108.77	2435.836
365	578338.322	8554555.11	2417.859	1159	577321.366	8555108.48	2435.827
366	578332.917	8554575.47	2419.087	1160	577319.449	8555109.16	2435.934
367	578340.522	8554577.15	2418.771	1161	577319.478	8555109.6	2435.968
368	578343.651	8554591.67	2419.391	1162	577319.163	8555109.5	2435.969
369	578364.804	8554596.94	2419.036	1163	577318.859	8555110.02	2436.02
370	578457.441	8554600.8	2420.561	1164	577318.737	8555109.64	2435.991
371	578467.194	8554606.34	2420.225	1165	577318.284	8555109.84	2436.02
372	578475.524	8554612.13	2418.773	1166	577318.263	8555109.15	2435.964
373	578482.905	8554618.65	2417.388	1167	577317.856	8555109.33	2435.99
374	578473.399	8554616.74	2418.841	1168	577317.569	8555109.58	2436.018
375	578467.732	8554628.14	2418.875	1169	577318.346	8555108.81	2435.934
376	578451.799	8554621.16	2419.958	1170	577318.605	8555108.94	2435.938
377	578460.612	8554629.86	2419.365	1171	577318.855	8555108.63	2435.906
378	578472.031	8554636.61	2417.846	1172	577319.115	8555108.88	2435.92
379	578312.958	8554572.23	2419.947	1173	577319.142	8555108.6	2435.896
380	578315.395	8554555.49	2418.521	1174	577319.518	8555108.93	2435.913
381	578321.954	8554541.13	2417.353	1175	577318.481	8555109.39	2435.978
382	578307.513	8554536.81	2417.219	1176	577319.023	8555109.15	2435.944
383	578294.123	8554525.95	2419.572	1177	577318.834	8555109.23	2435.956
384	578276.468	8554518.91	2422.148	1178	577318.19	8555109.51	2435.996
385	578255.62	8554516.24	2424.563	1179	577317.758	8555109.7	2436.023
386	578245.984	8554510.28	2427.356	1180	577317.821	8555110.05	2436.049
387	578233.131	8554500.5	2431.847	1181	577317.589	8555110.07	2436.057
388	578233.702	8554513.58	2427.271	1182	577317.463	8555109.83	2436.041
389	578312.958	8554572.23	2419.947	1183	577317.236	8555109.59	2436.028
390	578299.035	8554561.91	2419.481	1184	577316.948	8555109.36	2436.016
391	578285.488	8554558.68	2419.579	1185	577317.364	8555109.06	2435.981

392	578271.923	8554549.27	2419.137	1186	577317.337	8555109.29	2436
393	578254.463	8554547.86	2419.344	1187	577317.66	8555108.99	2435.967
394	578245.184	8554542.08	2419.173	1188	577317.948	8555109.12	2435.97
395	578226.637	8554534.5	2420.574	1189	577318.017	8555109.59	2436.007
396	578218.788	8554530.52	2422.541	1190	577317.953	8555109.62	2436.011
397	578227.731	8554543.22	2420.155	1191	577317.164	8555110.37	2436.093
398	578244.178	8554529.56	2421.078	1192	577316.958	8555110.03	2436.07
399	578262.565	8554536.26	2418.369	1193	577316.726	8555109.65	2436.046
400	578277.918	8554527.81	2419.929	1194	577316.503	8555109.27	2436.021
401	578286.843	8554534.33	2418.093	1195	577318.132	8555108.59	2435.922
402	578293.673	8554555.75	2419.124	1196	577318.854	8555108.29	2435.879
403	578329.625	8554545.47	2417.546	1197	577319.777	8555108.82	2435.897
404	578311.04	8554524.44	2418.988	1198	577319.857	8555109.07	2435.915
405	578321.388	8554530.23	2417.863	1199	577319.478	8555109.6	2435.968
406	578333.523	8554538.19	2417.116	1200	577318.525	8555110.06	2436.031
407	578346.006	8554542.88	2417.234	1201	577318.136	8555110.06	2436.042
408	578326.133	8554570.19	2419.141	1202	577317.581	8555110.29	2436.075
409	578288.365	8554568.12	2420.268	1203	577317.423	8555110.14	2436.067
410	578271.953	8554559.81	2419.96	1204	577316.189	8555109.89	2436.08
411	578219.79	8554506.9	2430.431	1205	577316.449	8555109.93	2436.076
412	578209.1	8554506.2	2431.303	1206	577316.365	8555109.59	2436.05
413	578209.1	8554506.2	2431.303	1207	577315.791	8555109.88	2436.09
414	578221.599	8554521.34	2425.431	1208	577315.901	8555109.48	2436.054
415	578204.917	8554538.56	2421.737	1209	577315.985	8555109.7	2436.07
416	578199.861	8554514.59	2428.988	1210	577316.029	8555110.33	2436.119
417	578191.288	8554506.62	2431.035	1211	577316.479	8555110.63	2436.132
418	578192.326	8554495.71	2435.421	1212	577316.636	8555110.4	2436.109
419	578182.75	8554510.64	2429.448	1213	577316.305	8555110.24	2436.105
420	578179.991	8554542.63	2422.48	1214	577315.986	8555110.04	2436.097
421	578167.878	8554542.66	2422.75	1215	577315.347	8555110.18	2436.125
422	578189.594	8554537.15	2422.313	1216	577315.849	8555110.65	2436.15
423	578174.979	8554533.92	2423.323	1217	577315.797	8555110.41	2436.132
424	578168.128	8554505.23	2429.991	1218	577315.358	8555110.55	2436.155
425	578167.377	8554491.78	2434.694	1219	577315.088	8555110.36	2436.147
426	578151.761	8554512.54	2426.64	1220	577315.031	8555110	2436.119
427	578178.081	8554497.57	2433.043	1221	577315.392	8555109.85	2436.098

428	578167.45	8554517.22	2427.241	1222	577315.653	8555110.15	2436.115
429	578156.129	8554545.24	2422.533	1223	577315.488	8555110.87	2436.177
430	578141.882	8554546.37	2422.173	1224	577315.503	8555110.5	2436.147
431	578134.674	8554516.95	2423.968	1225	577315.127	8555110.95	2436.194
432	578152.085	8554501.28	2428.725	1226	577315.137	8555110.62	2436.167
433	578137.482	8554502.41	2426.299	1227	577314.71	8555111.18	2436.224
434	578138.65	8554537.29	2421.664	1228	577314.709	8555110.57	2436.174
435	578123.061	8554546.71	2421.949	1229	577314.476	8555110.37	2436.164
436	578125.887	8554537.98	2421.173	1230	577314.219	8555111.43	2436.257
437	578107.625	8554547.24	2422.455	1231	577314.051	8555111.23	2436.245
438	578110.412	8554535.69	2421.986	1232	577314.075	8555110.75	2436.206
439	578117.308	8554528.07	2422.435	1233	577313.827	8555110.51	2436.192
440	578118.945	8554519.1	2423.314	1234	577313.63	8555110.79	2436.22
441	578107.798	8554524.46	2423.338	1235	577313.415	8555111.03	2436.246
442	578103.782	8554531.99	2422.743	1236	577313.422	8555111.32	2436.269
443	578095.458	8554527.89	2423.634	1237	577313.786	8555111.32	2436.26
444	578099.227	8554516.98	2424.608	1238	577313.496	8555111.6	2436.29
445	578127.501	8554521.02	2422.731	1239	577312.977	8555111.56	2436.301
446	578111.804	8554513.55	2424.299	1240	577313.12	8555111.73	2436.311
447	578094.049	8554533.71	2423.083	1241	577312.688	8555111.83	2436.33
448	578097.411	8554546.54	2422.754	1242	577312.688	8555111.83	2436.33
449	578090.075	8554556.01	2422.997	1243	577312.828	8555111.2	2436.275
450	578086.027	8554552.39	2423.186	1244	577312.6	8555111.32	2436.291
451	578077.256	8554557.98	2423.724	1245	577312.76	8555111.04	2436.264
452	578074.631	8554553.87	2423.784	1246	577313.05	8555111.01	2436.254
453	578065.624	8554559.96	2424.464	1247	577312.901	8555110.8	2436.241
454	578067.753	8554548.47	2423.966	1248	577313.123	8555110.77	2436.232
455	578076.002	8554534.73	2423.559	1249	577313.108	8555111.29	2436.275
456	578087.171	8554536.88	2423.07	1250	577312.642	8555111.44	2436.3
457	578073.544	8554546.73	2423.671	1251	577312.508	8555111.65	2436.32
458	578084.522	8554524.05	2424.453	1252	577312.508	8555111.65	2436.32
459	578066.255	8554531.37	2424.115	1253	577312.494	8555111.16	2436.281
460	578063.901	8554538.88	2423.775	1254	577313.42	8555110.87	2436.233
461	578055.846	8554545.93	2424.363	1255	577313.806	8555111.06	2436.238
462	578051.791	8554539.64	2424.175	1256	577314.216	8555110.46	2436.178
463	578049.396	8554532.62	2424.407	1257	577314.359	8555110.61	2436.187

464	578045.154	8554544.27	2424.602	1258	577314.723	8555110.76	2436.189
465	578057.309	8554559.25	2424.933	1259	577314.37	8555110.87	2436.208
466	578047.359	8554568	2425.828	1260	577314.317	8555111.17	2436.233
467	578048.292	8554561.94	2425.475	1261	577314.435	8555111.32	2436.242
468	578040.658	8554550.09	2425.038	1262	577313.892	8555111.54	2436.275
469	578033.754	8554544.54	2424.921	1263	577313.57	8555111.44	2436.275
470	578031.178	8554557.15	2425.672	1264	577313.311	8555111.55	2436.291
471	578026.649	8554551.59	2425.492	1265	577312.265	8555111.37	2436.304
472	578018.795	8554545.79	2425.388	1266	577312.352	8555111.68	2436.327
473	578020.256	8554558.39	2426.031	1267	577312.25	8555111.89	2436.347
474	578030.75	8554573.62	2426.575	1268	577312.159	8555111.76	2436.339
475	578039.278	8554565.84	2425.927	1269	577311.962	8555111.95	2436.359
476	578015.291	8554566.16	2426.583	1270	577311.961	8555111.76	2436.344
477	578009.09	8554557.21	2426.008	1271	577312.127	8555112.06	2436.364
478	578014.772	8554550.89	2425.754	1272	577312.522	8555111.9	2436.34
479	578027.095	8554541.17	2424.917	1273	577311.769	8555112.23	2436.387
480	578035.378	8554530.97	2424.858	1274	577311.719	8555112.05	2436.374
481	578001.012	8554566.59	2426.297	1275	577311.295	8555112.11	2436.39
482	578022.674	8554583.97	2426.916	1276	577311.428	8555111.84	2436.364
483	578013.196	8554591.51	2427.474	1277	577311.472	8555112.11	2436.385
484	578002.29	8554598.57	2427.783	1278	577311.587	8555111.97	2436.371
485	577988.523	8554601.27	2428.082	1279	577311.611	8555111.68	2436.347
486	577993.01	8554592.29	2427.491	1280	577311.536	8555111.45	2436.33
487	578001.318	8554590.57	2427.413	1281	577311.454	8555111.62	2436.346
488	578011.982	8554582.31	2427.178	1282	577311.216	8555111.75	2436.363
489	578019.801	8554575.98	2426.917	1283	577311.022	8555111.86	2436.377
490	577996.52	8554573.87	2426.493	1284	577311.06	8555112.08	2436.394
491	577980.391	8554581.18	2426.623	1285	577310.842	8555112.24	2436.413
492	577986.561	8554579.47	2426.607	1286	577310.734	8555111.97	2436.394
493	577966.864	8554584.86	2426.365	1287	577310.491	8555112	2436.402
494	577969.985	8554596.18	2427.491	1288	577310.521	8555112.23	2436.42
495	577983.058	8554600.32	2428.08	1289	577310.791	8555111.7	2436.37
496	577975.717	8554608.09	2428.693	1290	577310.561	8555111.78	2436.383
497	577970.008	8554604.71	2428.233	1291	577311.133	8555111.53	2436.347
498	577976.403	8554598.64	2427.937	1292	577311.018	8555111.69	2436.363
499	577973.282	8554587.02	2426.843	1293	577311.404	8555111.39	2436.329

500	577960.713	8554593.6	2426.899	1294	577311.869	8555111.36	2436.314
501	577968.981	8554577.58	2425.826	1295	577311.858	8555111.53	2436.328
502	577978.459	8554569.8	2425.897	1296	577311.697	8555111.55	2436.333
503	577988.909	8554570.02	2426.155	1297	577312.002	8555111.47	2436.319
504	577993.157	8554560.55	2425.898	1298	577312.034	8555111.28	2436.303
505	578007.191	8554567.78	2426.488	1299	577312.281	8555111.12	2436.283
506	577954.058	8554591.68	2426.445	1300	577312.405	8555111.35	2436.299
507	577949.569	8554600.17	2427.124	1301	577312.154	8555111.5	2436.318
508	577933.887	8554597.55	2426.79	1302	577312.073	8555111.91	2436.353
509	577944.795	8554591.46	2426.041	1303	577311.78	8555111.88	2436.359
510	577941.492	8554599.47	2426.765	1304	577311.336	8555112	2436.38
511	577953.563	8554584.65	2425.732	1305	577311.308	8555112.32	2436.407
512	577958.036	8554570.83	2424.979	1306	577311.114	8555112.23	2436.404
513	577955.545	8554613.72	2428.726	1307	577310.908	8555112.12	2436.401
514	577934.087	8554626.14	2431.098	1308	577310.953	8555111.99	2436.39
515	577924.815	8554622.89	2430.791	1309	577310.816	8555111.84	2436.381
516	577920.128	8554603.28	2427.824	1310	577310.677	8555112.18	2436.412
517	577932.958	8554611.9	2428.365	1311	577310.624	8555112.1	2436.407
518	577906.257	8554611.32	2428.955	1312	577310.137	8555111.92	2436.405
519	577909.186	8554639.29	2434.814	1313	577310.228	8555112.1	2436.417
520	577897.785	8554638.96	2433.877	1314	577310.318	8555111.88	2436.397
521	577883.919	8554648.81	2432.798	1315	577310.271	8555112.22	2436.426
522	577874.219	8554620.13	2426.993	1316	577310.394	8555112.51	2436.447
523	577887.73	8554610.64	2427.263	1317	577310.344	8555112.33	2436.433
524	577895.587	8554617.52	2429.345	1318	577310.69	8555112.42	2436.431
525	577905.035	8554622.69	2431.435	1319	577311.041	8555112.52	2436.43
526	577857.484	8554623.45	2425.916	1320	577310.843	8555112.4	2436.426
527	577867.185	8554652.13	2429.556	1321	577310.645	8555112.3	2436.422
528	577852.968	8554663.8	2428.542	1322	577310.505	8555112.41	2436.435
529	577836.857	8554635.86	2425.018	1323	577310.327	8555112.2	2436.423
530	577831.897	8554645.69	2424.406	1324	577310.273	8555112	2436.408
531	577851.452	8554631.82	2426.099	1325	577310.084	8555112.08	2436.42
532	577840.699	8554650.41	2425.679	1326	577309.981	8555112.21	2436.433
533	577841.569	8554664.19	2426.783	1327	577310.126	8555112.42	2436.446
534	577825.021	8554670.69	2425.178	1328	577310.094	8555112.58	2436.46
535	577814.001	8554679.08	2425.385	1329	577309.887	8555112.48	2436.458

536	577798.349	8554687.12	2425.218	1330	577309.81	8555112.65	2436.473
537	577806.155	8554676.2	2425.188	1331	577309.792	8555112.18	2436.436
538	577805.034	8554657.66	2424.823	1332	577309.722	8555112.28	2436.446
539	577817.825	8554645.64	2424.43	1333	577309.808	8555111.95	2436.417
540	577821.915	8554659.28	2424.667	1334	577309.985	8555112.09	2436.423
541	577789.713	8554656.98	2425.142	1335	577309.929	8555112.33	2436.444
542	577782.619	8554667.9	2425.362	1336	577310.344	8555112.33	2436.433
543	577789.713	8554656.98	2425.142	1337	577309.543	8555112.71	2436.485
544	577803.221	8554646.4	2424.835	1338	577309.621	8555112.59	2436.474
545	577812.141	8554651.47	2424.546	1339	577309.464	8555112.61	2436.479
546	577788.767	8554700.23	2425.36	1340	577309.247	8555112.75	2436.496
547	577765.228	8554691.21	2425.042	1341	577309.225	8555112.3	2436.46
548	577749.595	8554705.79	2425.13	1342	577309.093	8555112.43	2436.474
549	577760.631	8554703.22	2425.073	1343	577309.459	8555112.27	2436.451
550	577775.618	8554711.9	2425.395	1344	577309.307	8555112.4	2436.467
551	577770.315	8554726.08	2425.598	1345	577309.276	8555112.54	2436.479
552	577748.919	8554718.88	2425.033	1346	577308.926	8555112.91	2436.518
553	577739.698	8554733.44	2425.578	1347	577309.008	8555112.74	2436.502
554	577734.677	8554721.82	2425.027	1348	577308.892	8555112.53	2436.488
555	577771.072	8554741.71	2426.461	1349	577308.657	8555112.61	2436.501
556	577759.676	8554743.19	2426.234	1350	577308.72	8555112.87	2436.52
557	577780.564	8554696.98	2425.212	1351	577308.381	8555112.69	2436.515
558	577787.01	8554675.78	2425.108	1352	577308.51	8555112.92	2436.53
559	577781.924	8554679.57	2425.133	1353	577308.313	8555113.13	2436.551
560	577767.7	8554683.21	2425.129	1354	577308.304	8555112.95	2436.537
561	577767.311	8554671.94	2425.737	1355	577308.233	8555112.74	2436.522
562	577758.43	8554680.69	2425.364	1356	577308.496	8555112.5	2436.497
563	577751.708	8554697.43	2425.115	1357	577308.743	8555112.36	2436.478
564	577726.24	8554747.27	2426.323	1358	577309.239	8555112.49	2436.475
565	577726.447	8554736.61	2425.747	1359	577309.089	8555112.54	2436.483
566	577735.501	8554746.76	2426.297	1360	577309.135	8555112.68	2436.494
567	577748.351	8554755.44	2426.768	1361	577308.89	8555112.79	2436.509
568	577756.915	8554760.51	2427.074	1362	577308.87	8555112.72	2436.504
569	577750.06	8554771.91	2427.285	1363	577308.802	8555112.79	2436.511
570	577742.206	8554766.12	2427.113	1364	577308.805	8555112.7	2436.504
571	577723.909	8554762.78	2427.013	1365	577308.678	8555112.69	2436.507

572	577717.002	8554756.02	2426.798	1366	577308.829	8555112.59	2436.495
573	577711.567	8554765.72	2427.027	1367	577309.067	8555112.68	2436.496
574	577718.242	8554774.67	2427.005	1368	577309.025	8555112.57	2436.487
575	577708.531	8554783.9	2427.162	1369	577308.937	8555112.59	2436.492
576	577699.262	8554781.75	2427.294	1370	577308.962	8555112.41	2436.476
577	577706.656	8554792.87	2427.268	1371	577308.781	8555112.46	2436.485
578	577709.461	8554776.87	2427.103	1372	577309.09	8555112.31	2436.465
579	577731.343	8554787.96	2427.275	1373	577309.51	8555112.36	2436.457
580	577743.008	8554797.86	2427.752	1374	577309.482	8555112.48	2436.468
581	577731.377	8554800.07	2427.57	1375	577309.709	8555112.36	2436.453
582	577725.905	8554796.69	2427.215	1376	577309.73	8555112.48	2436.461
583	577714.73	8554792.36	2427.074	1377	577309.612	8555112.38	2436.457
584	577704.781	8554801.84	2427.62	1378	577309.382	8555112.62	2436.482
585	577699.545	8554797.98	2427.551	1379	577309.21	8555112.64	2436.488
586	577694.114	8554809.14	2428.299	1380	577309.276	8555112.67	2436.489
587	577710.896	8554815.69	2428.206	1381	577309.168	8555112.64	2436.489
588	577727.366	8554809.53	2428.027	1382	577308.949	8555112.65	2436.496
589	577702.194	8554810.57	2428.161	1383	577309.099	8555112.78	2436.502
590	577689.878	8554822.72	2429.147	1384	577308.134	8555113.08	2436.552
591	577692.182	8554797.76	2427.735	1385	577308.172	8555113	2436.544
592	577696.039	8554817.85	2428.719	1386	577308.113	8555112.84	2436.533
593	577737.021	8554780.19	2427.284	1387	577308.029	8555112.87	2436.538
594	577696.548	8554829.85	2429.354	1388	577308.018	8555112.77	2436.531
595	577709.234	8554836.43	2429.34	1389	577307.907	8555112.88	2436.542
596	577715.862	8554828.66	2428.775	1390	577307.908	8555112.78	2436.534
597	577720.587	8554819.93	2428.362	1391	577308.194	8555112.74	2436.524
598	577703.652	8554822.23	2428.753	1392	577308.227	8555112.83	2436.53
599	577691.35	8554839.23	2429.797	1393	577307.996	8555112.83	2436.535
600	577684.367	8554833.6	2429.882	1394	577308.033	8555113	2436.548
601	577707.359	8554845.32	2429.727	1395	577307.968	8555113.12	2436.559
602	577692.325	8554848.11	2429.927	1396	577307.966	8555113.16	2436.563
603	577686.171	8554855.72	2430.025	1397	577308.015	8555113.08	2436.554
604	577706.914	8554855.98	2430.135	1398	577307.956	8555113.06	2436.555
605	577699.176	8554863.27	2430.289	1399	577308.215	8555113.06	2436.548
606	577685.868	8554860.56	2430.06	1400	577308.397	8555113.01	2436.539
607	577684.882	8554847.81	2429.972	1401	577308.362	8555112.93	2436.534

608	577698.308	8554836.3	2429.589	1402	577308.306	8555113.07	2436.547
609	577716.146	8554817.35	2428.156	1403	577308.19	8555112.95	2436.54
610	577719.916	8554806.68	2427.6	1404	577308.103	8555112.98	2436.545
611	577707.724	8554806.39	2427.788	1405	577307.927	8555112.99	2436.55
612	577719.999	8554835.92	2429.234	1406	577307.804	8555112.92	2436.548
613	577680.369	8554875.64	2429.876	1407	577307.833	8555112.85	2436.541
614	577697.463	8554873.49	2430.531	1408	577307.984	8555112.93	2436.543
615	577680.353	8554869.99	2430	1409	577308.146	8555112.81	2436.531
616	577694.801	8554883.84	2430.677	1410	577308.34	8555112.79	2436.523
617	577681.026	8554883.88	2429.664	1411	577308.499	8555112.71	2436.513
618	577676.302	8554893.42	2429.469	1412	577308.462	8555112.63	2436.507
619	577695.31	8554895.95	2431.017	1413	577308.319	8555112.61	2436.51
620	577691.846	8554902.74	2430.694	1414	577308.543	8555112.65	2436.507
621	577674.912	8554905.54	2429.218	1415	577308.62	8555112.83	2436.52
622	577673.783	8554898.27	2429.405	1416	577308.452	8555112.87	2436.527
623	577687.576	8554904.69	2430.081	1417	577308.344	8555112.85	2436.528
624	577680.884	8554889.69	2429.495	1418	577308.263	8555112.88	2436.532
625	577689.709	8554874.55	2430.256	1419	577307.889	8555113.11	2436.56
626	577685.099	8554868.52	2430.1	1420	577307.792	8555113.13	2436.564
627	577688.082	8554915.43	2430.472	1421	577307.749	8555113	2436.555
628	577686.052	8554925.45	2430.631	1422	577307.816	8555113.02	2436.555
629	577678.938	8554929.67	2430.192	1423	577307.721	8555113.16	2436.569
630	577671.665	8554933.25	2430.442	1424	577307.458	8555113.14	2436.573
631	577669.25	8554919.2	2429.822	1425	577307.366	8555113.49	2436.603
632	577659.777	8554928.76	2430.369	1426	577307.337	8555112.93	2436.56
633	577664.71	8554937.3	2430.672	1427	577307.158	8555113.09	2436.577
634	577661.724	8554945.23	2431.016	1428	577307.17	8555113.23	2436.588
635	577655.565	8554950.9	2431.675	1429	577307.287	8555113.19	2436.582
636	577651.236	8554931.85	2430.569	1430	577306.999	8555113.45	2436.609
637	577646.664	8554938.81	2430.816	1431	577306.898	8555113.32	2436.602
638	577657.286	8554943.78	2430.951	1432	577306.802	8555113.35	2436.606
639	577671.841	8554911.6	2429.413	1433	577306.674	8555113.4	2436.613
640	577677.896	8554925.15	2429.97	1434	577306.443	8555113.65	2436.637
641	577663.799	8554923.09	2430.086	1435	577306.396	8555113.49	2436.626
642	577648.381	8554951.87	2431.75	1436	577306.312	8555113.16	2436.604
643	577649.775	8554947.41	2431.257	1437	577306.634	8555113.19	2436.598

644	577643.04	8554954.61	2432.023	1438	577306.477	8555113.46	2436.622
645	577640.644	8554953.25	2431.875	1439	577306.948	8555113.12	2436.585
646	577637.746	8554948.74	2431.387	1440	577306.634	8555113.19	2436.598
647	577640.195	8554943.85	2430.968	1441	577306.948	8555113.12	2436.585
648	577645.82	8554942.26	2430.918	1442	577307.133	8555112.86	2436.56
649	577641.869	8554938.61	2430.832	1443	577307.01	8555112.96	2436.572
650	577636.397	8554944.65	2430.989	1444	577306.756	8555112.95	2436.577
651	577634.3	8554949.75	2431.495	1445	577306.534	8555112.97	2436.584
652	577637.908	8554956.49	2432.224	1446	577306.782	8555113.19	2436.595
653	577632.551	8554965.64	2433.211	1447	577306.777	8555113.57	2436.623
654	577632.432	8554961.01	2432.711	1448	577306.623	8555113.82	2436.645
655	577623.261	8554965.34	2433.176	1449	577307.366	8555113.49	2436.603
656	577627.056	8554963.5	2432.979	1450	577307.493	8555113.33	2436.587
657	577623.229	8554954.15	2431.966	1451	577307.703	8555113.44	2436.591
658	577627.445	8554951.98	2431.734	1452	577307.536	8555113.11	2436.57
659	577620.18	8554958.46	2432.432	1453	577307.221	8555113.39	2436.599
660	577617.746	8554956.1	2432.176	1454	577307.337	8555112.93	2436.56
661	577612.797	8554960.64	2432.664	1455	577307.489	8555113.13	2436.572
662	577616.093	8554968.81	2433.549	1456	577307.158	8555113.09	2436.577
663	577610.294	8554971.2	2433.804	1457	577307.026	8555113.28	2436.595
664	577601.537	8554972.84	2434.15	1458	577307.221	8555113.39	2436.599
665	577600.775	8554964.87	2433.347	1459	577306.777	8555113.57	2436.623
666	577606.782	8554961.19	2432.723	1460	577306.178	8555113.87	2436.659
667	577604.573	8554963.89	2433.094	1461	577306.128	8555113.76	2436.652
668	577605.33	8554970.46	2433.768	1462	577305.882	8555113.93	2436.671
669	577617.984	8554965.9	2433.234	1463	577305.925	8555113.64	2436.649
670	577640.981	8554960.56	2432.664	1464	577305.733	8555113.9	2436.672
671	577629.437	8554947.13	2431.21	1465	577305.413	8555114.03	2436.689
672	577623.741	8554948.65	2431.373	1466	577305.733	8555113.9	2436.672
673	577619.636	8554952.54	2431.792	1467	577305.413	8555114.03	2436.689
674	577625.451	8554955.97	2432.164	1468	577305.558	8555113.76	2436.666
675	577616.492	8554960.84	2432.688	1469	577305.72	8555113.35	2436.633
676	577607.423	8554964.1	2433.037	1470	577305.516	8555113.54	2436.651
677	577592.973	8554977.22	2434.866	1471	577305.775	8555113.14	2436.616
678	577592.101	8554967.75	2433.968	1472	577306.047	8555113.38	2436.627
679	577586.199	8554970.78	2434.47	1473	577306.127	8555113.16	2436.609

680	577581.232	8554968.96	2434.481	1474	577306.195	8555113.36	2436.622
681	577577.867	8554973.28	2434.98	1475	577305.702	8555113.54	2436.647
682	577574.072	8554975.23	2435.271	1476	577305.152	8555113.76	2436.675
683	577585.067	8554981.01	2435.457	1477	577304.803	8555114.01	2436.701
684	577581.168	8554983.39	2435.607	1478	577304.974	8555114.14	2436.706
685	577574.42	8554986.1	2435.575	1479	577305.159	8555114.03	2436.694
686	577570.096	8554987.62	2435.558	1480	577305.018	8555114.26	2436.713
687	577565.529	8554977.62	2435.717	1481	577305.159	8555114.03	2436.694
688	577569.744	8554975.24	2435.409	1482	577306.066	8555113.51	2436.635
689	577566.985	8554969.86	2435.049	1483	577305.428	8555113.72	2436.666
690	577562.257	8554977.74	2435.813	1484	577305.279	8555113.5	2436.655
691	577564.392	8554986.35	2435.842	1485	577304.967	8555113.69	2436.675
692	577560.896	8554981.94	2436.19	1486	577304.848	8555113.84	2436.689
693	577573.108	8554970.39	2434.895	1487	577305.408	8555113.93	2436.682
694	577589.126	8554960.76	2433.411	1488	577305.614	8555113.84	2436.671
695	577586.606	8554965.5	2433.962	1489	577305.207	8555114.13	2436.7
696	577582.987	8554975.98	2435.056	1490	577305.223	8555113.87	2436.682
697	577588.33	8554977.88	2435.07	1491	577304.98	8555113.95	2436.693
698	577594.147	8554981.85	2435.29	1492	577305.317	8555113.7	2436.667
699	577600.151	8554977.2	2434.647	1493	577305.708	8555113.71	2436.659
700	577597.397	8554973.98	2434.404	1494	577306.104	8555113.58	2436.64
701	577554.945	8554995.66	2435.593	1495	577306.285	8555113.66	2436.641
702	577553.193	8554991.95	2435.886	1496	577305.905	8555113.43	2436.634
703	577548.296	8554996.16	2435.874	1497	577306.358	8555113.32	2436.615
704	577548.601	8554992.12	2436.065	1498	577305.452	8555113.36	2436.64
705	577544.654	8554996.17	2436.045	1499	577305.021	8555113.81	2436.682
706	577541.578	8554988.24	2436.511	1500	577304.746	8555114.13	2436.71
707	577538.158	8554994.74	2436.4	1501	577304.701	8555114.3	2436.723
708	577535.302	8554992.65	2436.594	1502	577304.384	8555114.41	2436.738
709	577532.782	8554997.18	2436.573	1503	577304.491	8555114.29	2436.727
710	577531.66	8554992.5	2436.733	1504	577304.498	8555114.11	2436.715
711	577542.27	8554992.79	2436.297	1505	577304.338	8555114.25	2436.728
712	577548.883	8554979.85	2436.34	1506	577304.119	8555114.02	2436.717
713	577551.582	8554982.43	2436.477	1507	577304.009	8555114.17	2436.73
714	577546.859	8554987.82	2436.344	1508	577304.313	8555114.06	2436.715
715	577551.912	8554987.42	2436.19	1509	577304.111	8555114.15	2436.726

716	577546.253	8554987.87	2436.363	1510	577304.207	8555114.31	2436.735
717	577544.142	8554983.09	2436.648	1511	577304.092	8555114.43	2436.746
718	577544.142	8554983.09	2436.648	1512	577304.03	8555114.36	2436.742
719	577539.345	8554984.94	2436.713	1513	577304.254	8555114.19	2436.726
720	577535.756	8554984.95	2436.822	1514	577304.069	8555114.25	2436.734
721	577531.538	8554986.47	2436.894	1515	577304.473	8555113.95	2436.705
722	577531.739	8554982.91	2436.989	1516	577304.634	8555114.06	2436.709
723	577537.644	8554980.85	2436.72	1517	577304.662	8555113.85	2436.694
724	577542.068	8554977.61	2436.34	1518	577304.593	8555113.94	2436.701
725	577547.252	8554981.58	2436.524	1519	577304.213	8555113.78	2436.699
726	577535.275	8554988.74	2436.718	1520	577304.325	8555113.92	2436.706
727	577531.174	8554989.07	2436.827	1521	577304.551	8555113.81	2436.693
728	577559.761	8554991.04	2435.679	1522	577304.773	8555113.67	2436.678
729	577556.988	8554981.14	2436.229	1523	577304.907	8555113.98	2436.696
730	577554.656	8554977.71	2436.013	1524	577304.577	8555114.21	2436.72
731	577564.297	8554990.17	2435.564	1525	577305.299	8555113.85	2436.678
732	577555.639	8554989.22	2435.953	1526	577305.359	8555113.83	2436.676
733	577521.894	8555002.71	2436.605	1527	577305.408	8555113.93	2436.682
734	577519.242	8554998.03	2436.726	1528	577305.29	8555113.85	2436.679
735	577525.464	8554996.08	2436.699	1529	577305.702	8555113.54	2436.647
736	577524.168	8554985.53	2436.936	1530	577305.572	8555113.63	2436.656
737	577521.22	8554988.33	2436.889	1531	577303.847	8555114.55	2436.759
738	577516.476	8554990.61	2436.873	1532	577303.851	8555114.45	2436.752
739	577514.478	8554993.09	2436.85	1533	577303.821	8555114.33	2436.745
740	577509.524	8554995.58	2436.862	1534	577303.652	8555114.13	2436.735
741	577513.761	8555000.85	2436.75	1535	577303.576	8555114.41	2436.755
742	577508.812	8555005.28	2436.771	1536	577303.352	8555114.28	2436.752
743	577510.069	8555001.83	2436.788	1537	577303.08	8555114.44	2436.768
744	577504.459	8554996.46	2436.904	1538	577303.162	8555114.55	2436.773
745	577506.052	8555000.56	2436.854	1539	577303.296	8555114.5	2436.768
746	577501.409	8555000.24	2436.917	1540	577303.266	8555114.65	2436.778
747	577499.608	8554998.09	2436.947	1541	577303.468	8555114.67	2436.774
748	577504.384	8555007.23	2436.831	1542	577303.592	8555114.62	2436.769
749	577498.479	8555009.4	2436.931	1543	577303.657	8555114.54	2436.762
750	577492.576	8555012.21	2437.19	1544	577303.657	8555114.54	2436.762
751	577494.269	8555006.52	2437.039	1545	577303.684	8555114.38	2436.751

752	577492.443	8555002.41	2437.111	1546	577303.541	8555114.42	2436.757
753	577486.855	8555004.8	2437.432	1547	577303.366	8555114.48	2436.764
754	577489.603	8555006.3	2437.314	1548	577303.229	8555114.39	2436.761
755	577487.193	8555012.44	2437.629	1549	577303.558	8555114.18	2436.741
756	577485.071	8555008.57	2437.663	1550	577303.492	8555114.35	2436.753
757	577480.528	8555007.29	2437.9	1551	577303.397	8555114.14	2436.741
758	577485.683	8555001.14	2437.372	1552	577303.208	8555114.27	2436.754
759	577490.007	8554999.84	2437.174	1553	577303.043	8555114.35	2436.763
760	577495.494	8554999.07	2436.993	1554	577303.02	8555114.59	2436.779
761	577496.666	8555002.73	2436.974	1555	577302.957	8555114.49	2436.774
762	577495.312	8555009.4	2436.992	1556	577303.212	8555114.53	2436.771
763	577490.887	8555008.23	2437.267	1557	577303.452	8555114.45	2436.761
764	577482.119	8555009.98	2437.926	1558	577303.558	8555114.18	2436.741
765	577515.657	8554999.33	2436.747	1559	577303.768	8555114.16	2436.734
766	577514.245	8554998.01	2436.783	1560	577303.628	8555114.27	2436.745
767	577520.428	8554994.55	2436.777	1561	577303.432	8555114.35	2436.755
768	577520.386	8554996.27	2436.746	1562	577302.915	8555114.58	2436.78
769	577517.525	8554996.52	2436.77	1563	577302.827	8555114.58	2436.782
770	577517.654	8554992.4	2436.837	1564	577302.796	8555114.5	2436.778
771	577521.307	8554989.95	2436.857	1565	577303.721	8555114.24	2436.741
772	577524.975	8554993.24	2436.766	1566	577303.825	8555114.26	2436.74
773	577524.445	8554988.12	2436.879	1567	577303.707	8555114.44	2436.755
774	577527.777	8554988.35	2436.86	1568	577303.508	8555114.5	2436.763
775	577528.162	8554991.84	2436.774	1569	577303.435	8555114.57	2436.769
776	577528.638	8554994.33	2436.71	1570	577303.356	8555114.59	2436.772

Fuente: Elaboración Propia

A.5 Aforamiento y Levantamiento Topográfico

Figura 143

Vista panorámica del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 144

Aforamiento del Rio Cachi con Correntómetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 145

Aforamiento del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 146

Levantamiento topográfico del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 147

Aforamiento del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 148

Levantamiento topográfico para el alineamiento y seccionamiento del río



Fuente: Elaboración propia

Figura 149

Levantamiento Topográfico del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 150

Levantamiento Topográfico del Rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 151

Levantamiento Topográfico con Dron del Río Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 152

Usos y coberturas de Suelos



Fuente: Elaboración propia

Figura 153

Vista Aérea de los usos y coberturas de suelos



Fuente: Elaboración propia

Figura 154

Vista Aérea de los usos y coberturas de suelos



Fuente: Elaboración propia

Figura 155

Vista con dron del rio Cachi



Fuente: Elaboración propia

Figura 156

Uso del Dron



Fuente: Elaboración propia

Figura 157

Vuelo y manejo de Dron



Fuente: Elaboración propia

Figura 158

Caudal del río Cachi



Fuente: Elaboración propia



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 039-2024-FIMGC:

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 444-2024-FIMGC-D**, a los nueve días del mes de julio de 2024, siendo las 10:00 a.m, reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, bajo la presidencia del MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS y los miembros; MSc. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO, Mg. Edward LEÓN PALACIOS y MSc. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ, actuando como secretario docente el MSc. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Civil, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

Milagros Nieto Huaihua

Quien presentó la tesis denominada:

**ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA UTILIZANDO EL MÉTODO SCS-CN
PARA PREDECIR LA INUNDACIÓN EN LA CUENCA SIN REGISTRO
HIDROMETEOROLÓGICO DE CCAYARPACHI, AYACUCHO, 2023**

Los señores miembros del jurado luego de expuesto la tesis y absueltas las preguntas, delibera y lo declaran:

APROBADO CON NOTA DIECISEIS (16)

Siendo las

12:15 p.m. del día 09 de julio de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad a lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Miembro

Mg. Ing. Edward LEÓN PALACIOS
Miembro

MSc. Ing. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ
Miembro

MSc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Secretario docente de la FIMGC

cc:
Archivo



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 115-2024-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 476-2023-FIMGC-UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : MILAGROS NIETO HUAHUA

Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL

Título de la Tesis : ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA UTILIZANDO EL MÉTODO SCS-CN PARA PREDECIR LA INUNDACIÓN EN LA CUENCA SIN REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO DE CCAYARPACHI, AYACUCHO, 2023

Evaluación de la Originalidad : 20 % Índice de Similitud

Identificador de la entrega : 2470609049

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 30 de setiembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil



Msc. Ing. Alex Sander IRICANAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Con depósito para Sustentación y Trámites
Cc. Archivo.

Estimación de la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN para predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023

por MILAGROS NIETO HUAIHUA

Fecha de entrega: 30-sep-2024 01:51p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2470609049

Nombre del archivo: Tesis_Milagros_Nieto_Huaihua.pdf (29.26M)

Total de palabras: 50209

Total de caracteres: 223565

Estimación de la escorrentía directa utilizando el método SCS-CN para predecir la inundación en la cuenca sin registro hidrometeorológico de Ccayarpachi, Ayacucho, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	8%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unsch.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
4	livrosdeamor.com.br	<1 %
	Fuente de Internet	
5	repositorio.ucv.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
6	repositorio.unp.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
7	e-spacio.uned.es	<1 %
	Fuente de Internet	
8	dspace.ucacue.edu.ec	<1 %
	Fuente de Internet	

9	Submitted to ipn Trabajo del estudiante	<1 %
10	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
11	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
12	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
13	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
14	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
16	Francisco Javier Sánchez Romero. "Criterios de seguridad en balsas de tierra para riego", Universitat Politecnica de Valencia, 2014 Publicación	<1 %
17	www.alimos.gov.gr Fuente de Internet	<1 %
18	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %

20	dspace.unipampa.edu.br Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
23	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
24	va.minambiente.it Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
28	www.comune.lamporecchio.pt.it Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo