

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de
áreas inundables en la Quebrada Luey – Tumbes, 2023**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola

Presentado por:

Autor, Br. Vega Balladares Gustavo

Tumbes, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de
áreas inundables en la Quebrada Luey – Tumbes, 2023**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

**Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Presidente)
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064**

**Mg. José Antonio Silva Chávez (Secretario)
Código ORCID: 0000-0001-5763-407X**

**Dr. Francisco Alburquerque Viera (Vocal)
Código ORCID: 0000-0002-7468-5386**

Tumbes, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la Quebrada Luey – Tumbes, 2023

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

Br. Vega Balladares Gustavo (Autor)

Dr. Alburqueque Viera, Franciso (Asesor)

Código ORCID: 0000-0002-7468-5386

Ing. Henry Fernando More Medrano (Co Asesor)

Tumbes, 2024

COPIA DE ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los treinta días del mes de setiembre del dos mil veinticuatro, siendo las ONCE horas con CERO minutos (00), en el ambiente del aula virtual 2, de la Facultad Ciencias Agrarias, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 182-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (presidente), **Mg. José Antonio Silva Chávez**, (Secretario), **Dr. Francisco Alburquerque Viera** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Francisco Alburquerque Viera** (Asesor), se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: titulado: : **"Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la quebrada Luey – Tumbes, 2023"**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el **Bach. VEGA BALLADARES GUSTAVO**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. VEGA BALLADARES GUSTAVO** A. PROBADO por UNANIMIDAD, con el calificativo MUY BUENO,

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica, de ser el caso.

En consecuencia, queda APTO para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las DOCE horas y TRIENTA minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 30 setiembre 2024

<p>Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N° 00223850 CODIGO ORCID N° 0000-0003-0841-3064 Presidente</p>	<p>Mg. José Antonio Silva Chávez DNI N° 41013171 CODIGO ORCID N° 0000-0001-5763-407X Secretario</p>
<p>Dr. Francisco Alburquerque Viera DNI N° 03605124 CODIGO ORCID N° 0000-0002-7468-5386 Vocal</p>	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
 s.acad.

Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la Quebrada Luey – Tumbes, 2023

por Gustavo Vega Balladares



Fecha de entrega: 15-oct-2024 03:20p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2486360776

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_03_10_2024_VEGAS.pdf (9.39M)

Total de palabras: 15173


Total de caracteres: 73281


Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la Quebrada Luey - Tumbes, 2023


INFORME DE ORIGINALIDAD

25% INDICE DE SIMILITUD	25% FUENTES DE INTERNET	9% PUBLICACIONES	15% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet		4%
2	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet		1%
3	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante		1%
4	pdfcookie.com Fuente de Internet		1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet		1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet		1%
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet		1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet		1%

9	acolita.com Fuente de Internet		1 %
10	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet		1 %
11	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante		1 %
12	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet		1 %
13	www.aragon.es Fuente de Internet		1 %
14	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet		1 %
15	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet		1 %
16	Submitted to unasam Trabajo del estudiante		1 %
17	simulacionutp2016.wordpress.com Fuente de Internet		1 %
18	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet		<1 %
19	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet		<1 %
20	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet		<1 %

21	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante		<1 %
22	Submitted to Webster University Trabajo del estudiante		<1 %
23	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet		<1 %
24	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante		<1 %
25	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante		<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante		<1 %
27	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet		<1 %
28	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante		<1 %
29	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante		<1 %
30	www.car.gov.co Fuente de Internet		<1 %
31	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet		<1 %

32	repositorio.unah.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	www.coursehero.com Fuente de Internet	 <1 %
35	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
36	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	www.worldclim.org Fuente de Internet	<1 %
40	repobib.ubiobio.cl Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
42	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
43	idus.us.es	

Fuente de Internet

<1 %

44 repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45 issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

46 repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

47 repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

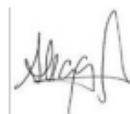
Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dedicatoria

A Dios:

quien ha sido mi luz en los momentos más oscuros, mi guía en los caminos inciertos y mi fortaleza en las adversidades. Con gratitud infinita, presento esta tesis como un tributo a su inagotable sabiduría y amor eterno.

A mis padres

Segundo Edilberto Vega Balladares y Mafalda Balladares Zapata, por su apoyo incondicional han sido la fuerza impulsora detrás de cada página escrita y cada logro alcanzado. Que esta tesis sea un modesto homenaje a su ardua labor incansable y un testimonio de mi amor eterno hacia ustedes

A mis hermanos

que han compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables, les dedico este trabajo. Su influencia ha sido fundamental en mi vida y en la realización de este sueño.

Agradecimiento

Agradezco sinceramente a la Universidad Nacional de Tumbes por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente y por su inestimable apoyo durante la realización de esta tesis. Expreso mi gratitud a todas las autoridades, docentes y personal administrativo por su dedicación y compromiso en la formación de profesionales comprometidos con el progreso de nuestra sociedad.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis distinguidos jurados de tesis, Dr. José Modesto Carrillo Sarango (presidente), Dr. José Antonio Silva Chávez (secretario), Dr. Francisco Alburqueque Viera (vocal), Dr. Eber Gines Tafur (acesitario), cuya guía experta, apoyo constante y sabias orientaciones han sido fundamentales en la realización de este trabajo académico. Su dedicación, paciencia y compromiso con mi crecimiento intelectual han sido verdaderamente inspiradores. Agradezco profundamente su disposición para compartir su conocimiento y experiencia.

Quiero dedicar unas palabras de profundo agradecimiento a mi estimado asesor de tesis, Dr. Alburqueque Viera, Francisco y al Ing. Henry Fernando More Medrano (Co Asesor) quienes han sido faros de sabiduría y apoyo durante todo este proceso de investigación. Su compromiso, orientación experta y dedicación inquebrantable han sido pilares fundamentales en la realización de este trabajo académico. Cada consejo, cada corrección y cada sugerencia han sido invaluablemente enriquecedores, guiándome hacia la excelencia y desafiándome a superar mis propios límites.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPITULO I.....	19
I. INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO II.....	20
II. ESTADO DEL ARTE.....	20
2.1. ANTECEDENTES.....	20
2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	38
CAPÍTULO III.....	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1. MATERIALES E INSUMOS.....	40
3.2. UBICACIÓN DE LA ZONA.....	40
3.2.1 UBICACIÓN GEOPOLÍTICA.....	40
3.2.2 UBICACIÓN GEODÉSICA.....	41
3.3. FASE DE CAMPO.....	42
3.4. FASE DE GABINETE.....	44
3.4.1. CARACTERIZACION DE LA CUENCA.....	44
3.4.2. RECOLECCIÓN Y ANALISIS DE DATOS DE P _{MAX} 24 HRS.....	50
3.4.3. CURVAS IDF.....	51
3.4.4. BLOQUE ALTERNO.....	52
3.4.5. ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS.....	52
3.5. MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	54

CAPÍTULO IV.....	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	55
4.1. RESULTADOS	55
4.1.1. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA	55
4.1.2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN	55
4.1.3. TORMENTA DE DISEÑO.....	58
4.1.4. CAUDALES MÁXIMOS.....	59
4.2. DISCUSIONES	64
CAPÍTULO V.....	65
V. CONCLUSIONES.....	65
CAPÍTULO VI.....	66
VI. RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS	68

Índice de tablas

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA SEGÚN EL VALOR KC	25
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA SEGÚN EL VALOR KF	25
TABLA 3: FACTOR DE AJUSTE PARA CORRECCIÓN DE DATOS DE P _{MAX}	28
TABLA 4: CONSTANTES REGIONALES DEL PERÚ PARA EL MÉTODO CREAGER...35	
TABLA 5: VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	36
TABLA 6: DATOS DE P _{MAX24H} DE LA ESTACIÓN CAMPAMENTO SEDE.....	50
TABLA 7: FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA, SEGÚN MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	51
TABLA 8: COEFICIENTES PARA EL CALCULO DE CAUDAL CON CREAGUER,.....	53
TABLA 9: COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO PARA EL MÉTODO RACIONAL.....	53
TABLA 10: NUMERO DE CURVA PONDERADO PARA MODELO EN HEC HMS.....	53
TABLA 11: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA LUEY	55
TABLA 12: VALORES DE DELTA TEÓRICO Y TABULAR PARA LA ESTACIÓN CAMPAMENTO SEDE.....	56
TABLA 13: PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	57
TABLA 14: CAUDALES CALCULADOS CON MÉTODO RACIONAL, CREAGUER Y HEC HMS.....	60

Índice de Figuras

FIGURA 1: AFECTACIONES DEL FENÓMENO EL NIÑO 2017.....	23
FIGURA 2: EDAD DEL RIO SEGÚN LA CURVA GRANULOMÉTRICA.....	26
FIGURA 3: ALGORITMO DE TRATAMIENTO DE DATOS HIDROLOGICOS	29
FIGURA 4: REGIONALIZACIÓN DE AVENIDAS EN TERRITORIO	34
FIGURA 5: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	41
FIGURA 6: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON	42
FIGURA 7: FOTO SATELITAL DEL VUELO CON DRON.....	42
FIGURA 8: CONFLUENCIA DE APORTANTE EN CAUCE DE LA QUEBRADA LUEY ...	43
FIGURA 9: MARCA DE AGUA CORRESPONDIENTE A UN EVENTO MAXIMO.....	43
FIGURA 10: SITIO WEB PARA DESCARGA DEL MDE ALOS PALSAR.....	44
FIGURA 11: HERRAMIENTAS DEL ARCTOLBOX HYDROLOGY	44
FIGURA 12: RELLENO DE SUMIDEROS	45
FIGURA 13: CÁLCULO DE LA DIRECCIÓN DEL FLUJO	45
FIGURA 14: CALCULO DEL FLUJO ACUMULADO	46
FIGURA 15: CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE DRENAJE	46
FIGURA 16: USO DE LA HERRAMIENTA STREAM LINK	47
FIGURA 17: USO DE LA HERRAMIENTA STREAM ORDER	47
FIGURA 18: USO DE LA HERRAMIENTA TO FEATURE	48
FIGURA 19: CREACIÓN DEL PUNTO DE DEFOGUE	48
FIGURA 20: CREACION DE LA CUENCA CON LA HERRAMIENTA WATERSHED	49
FIGURA 21: CONVERSIÓN DE LA CUENCA EN FORMATO VECTORIAL.....	49
FIGURA 22: PUNTO DE SALIDA PARA ESTIMAR LOS CAUDALES MÁXIMOS	52
FIGURA 23:PRUEBA DE DATOS DUDOSOS.....	56
FIGURA 24:CURVAS IDF – ESTACIÓN CAMPAMENTO SEDE	57
FIGURA 25:HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN PARA UN TR = 100 AÑOS.....	58
FIGURA 26: CUENCA LUEY DESDE PUNTO DE CONTROL PARA EL MODELAMIENTO	59
FIGURA 27: MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDADES PARA UN CAUDAL DE 9.8 M3/S Y TR 5 AÑOS	60
FIGURA 28: MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDADES PARA UN CAUDAL DE 26.7 M3/S Y TR 25 AÑOS.....	61
FIGURA 29: MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDADES PARA UN CAUDAL DE 40.0 M3/S Y TR 50 AÑOS.....	62
FIGURA 30: MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDADES PARA UN CAUDAL DE 40.0 M3/S Y TR 100 AÑOS.....	63

RESUMEN

El presente estudio se centra en el "Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la Quebrada Luey - Tumbes", con el objetivo de abordar uno de los desafíos más apremiantes en la gestión del riesgo de inundaciones en la región. La Quebrada Luey, debido a su ubicación geográfica y a las características climáticas de la zona, presenta un alto potencial de inundación, lo que representa una amenaza para la seguridad y el bienestar de sus habitantes.

Para abordar este problema, se propone un enfoque integral que combina metodologías de modelado hidrológico e hidráulico. En primer lugar, se realizó un exhaustivo análisis de la cuenca hidrográfica de la Quebrada Luey, que incluirá la recopilación de datos hidrológicos y meteorológicos, así como la caracterización de la topografía y el uso del suelo en la zona de estudio.

Con base en esta información, se desarrollaron modelos hidrológicos que permitieron simular el comportamiento de los flujos de agua en la quebrada, teniendo en cuenta factores como la precipitación, la infiltración del suelo y la escorrentía superficial. Estos modelos se generaron utilizando datos históricos de eventos de inundación y se calibraron para garantizar su precisión y fiabilidad.

Posteriormente, se procedió con el modelado hidráulico, que implicó la simulación de las inundaciones a lo largo de la Quebrada Luey. Se utilizaron modelos hidráulicos bidimensionales para representar con precisión la dinámica de los flujos de agua y su interacción con el entorno físico, incluyendo la topografía del terreno y la presencia de infraestructuras hidráulicas.

El resultado final del estudio fue la generación de mapas de inundación detallados, que identificaron las áreas con mayor riesgo de inundación en la Quebrada Luey. Estos mapas proporcionaron información valiosa para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones, permitiendo a las autoridades locales y a la comunidad implementar medidas preventivas y desarrollar planes de emergencia efectivos.

Palabras claves: Gestión del riesgo, modelamiento hidrológico e hidráulico, simulación, inundación, quebrada.

ABSTRACT

The present study focuses on "Hydrological and hydraulic modeling for the estimation of floodable areas in the Quebrada Luey - Tumbes", with the aim of addressing one of the most pressing challenges in flood risk management in the region. Quebrada Luey, due to its geographical location and the climatic characteristics of the area, has a high potential for flooding, which represents a threat to the safety and well-being of its inhabitants.

To address this problem, a comprehensive approach is proposed that combines hydrological and hydraulic modeling methodologies. First, an exhaustive analysis of the Quebrada Luey hydrographic basin was carried out, which will include the collection of hydrological and meteorological data, as well as the characterization of the topography and land use in the study area.

Based on this information, hydrological models were developed that allowed simulating the behavior of water flows in the stream, taking into account factors such as precipitation, soil infiltration and surface runoff. These models were generated using historical flood event data and calibrated to ensure accuracy and reliability.

Subsequently, hydraulic modeling was carried out, which involved the simulation of floods along the Quebrada Luey. Two-dimensional hydraulic models were used to accurately represent the dynamics of water flows and their interaction with the physical environment, including the topography of the terrain and the presence of hydraulic infrastructure.

The final result of the study was the generation of detailed flood maps, which identified the areas with the highest risk of flooding in Quebrada Luey. These maps provided valuable information for decision-making in flood risk management, allowing local authorities and the community to implement preventive measures and develop effective emergency plans.

Keywords: Risk management, hydrological and hydraulic modeling, simulation, flood, stream.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo de inundaciones es un desafío de gran relevancia para las comunidades ubicadas en zonas vulnerables a eventos climáticos extremos. En este contexto, la Quebrada Luey, situada en la región de Tumbes, se destaca como un área de interés particular debido a su histórica propensión a inundaciones que han impactado negativamente en las poblaciones circundantes. Ante esta realidad, el presente estudio se adentra en el ámbito del modelamiento hidrológico e hidráulico como una herramienta fundamental para la estimación y delimitación de áreas inundables en la zona en mención.

La Quebrada Luey y su cuenca hidrográfica han experimentado un incremento tanto en la frecuencia como en la intensidad de los sucesos de inundación, atribuido en parte a factores como el cambio climático, la deforestación, el crecimiento urbano desordenado y la modificación del cauce natural de los ríos. Estos fenómenos han generado una creciente preocupación en las autoridades locales y en la comunidad en general, debido a los graves impactos socioeconómicos y ambientales asociados a las inundaciones.

En este contexto, el modelamiento hidrológico e hidráulico emerge como una herramienta esencial para comprender y predecir el comportamiento de los flujos de agua en la Quebrada Luey, así como para identificar las áreas más susceptibles a inundaciones. Este enfoque integrado combina el análisis de variables hidrológicas, como la precipitación y la escorrentía, con la simulación de la propagación de las inundaciones mediante modelos hidráulicos que tienen en cuenta la topografía del terreno y la infraestructura existente.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar un modelamiento hidrológico e hidráulico precisos y confiables que permitan simular escenarios de inundación en la Quebrada Luey y estimar las áreas inundables con un alto grado de detalle. Para la planificación territorial, la implementación de medidas preventivas y la elaboración de planes de emergencia que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de las comunidades frente a futuros eventos de inundación.

CAPITULO II

II. ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

En el ámbito internacional, Ayala, J. (2014); en su tesis “Modelamiento hidráulico bidimensional, para la determinación de planos de inundación de Quillacollo” Cochabamba, Bolivia. Se realizó la investigación debido a que en los años 2013 y 2014 se presentaron precipitaciones máximas que elevaron el caudal del río, causando inundaciones. Para ello, se utilizó el modelamiento HEC-RAS; cuyos resultados permitieron la visualización de tramos críticos y con ello gestionar proyectos hidráulicos.

Chilito Rincón, E. A. (2018). En su tesis de pregrado “Definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de Simulación Hec-Ras en un tramo de caño grande, barrio el rubí – Villavicencio”. Universidad Santo Tomás, Villavicencio. Para el desarrollo de la investigación se usó el programa ArcGIS para procesar la información topográfica proveniente de un modelo de elevación digital (DEM), AutoCAD para determinar las áreas de las secciones y Hec-Ras para procesar e identificar las zonas vulnerables a inundaciones.

Zambrano (2020). realizó un estudio Hidrológico e Hidráulico de la quebrada “El Chorro”, para determinar los caudales máximos, se utilizó el método racional y el modelo Hec-Hms. Determinados los caudales para distintos periodos de retorno, se procedió con el estudio hidráulico usando el software Hec-Ras y con ello identificar las áreas vulnerables a inundaciones producto de las intensas lluvias.

Quito, A & Picón, William, (2022). En su investigación de tesis “Evaluación hidrológica e hidráulica del río San Francisco en el cantón Gualaceo”. Se desarrollaron dos modelos hidrológicos utilizando el software HEC-HMS, uno para la zona alta y otro para la zona media del río San Francisco, permitiendo la obtención de caudales en cada subcuenca. En la sección baja del río, se construyó un modelo hidráulico utilizando HEC-RAS para identificar áreas de inundación debido a los frecuentes desbordamientos. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico en las tres zonas para generar modelos digitales de elevaciones (MDE) necesarios para las simulaciones. Además, se sugieren ubicaciones para

estaciones de monitoreo hidrometeorológico con el fin de realizar un seguimiento constante del río en diferentes épocas del año.

En el ámbito nacional, Aguilar & Mamani, (2019). En su tesis “Modelamiento hidráulico de la quebrada San Antonio de Pedregal para estimar zonas de inundación ante huaicos, Lurigancho Lima 2019”, se desarrolló un modelamiento hidráulico GEO - HECRAS 2D para identificar los sectores vulnerables a inundación y con ello proponer medidas de prevención. Finalmente se logró estimar el caudal máximo mediante el método racional y alcanzando valores de 63.05 m³/s, 85.99 m³/s, 117.26 m³/s, 129.09 m³/s para diferentes tiempos de retorno 50, 100, 200 y 500 años respectivamente.

Gomero Armas, D. A. (2020). En su tesis de pregrado “Modelamiento hidrológico e hidráulico para evaluación de áreas inundables en el río Pisco, Tramo 6+500 al 7+900”. Esta investigación tuvo como objetivo identificar las áreas vulnerables a inundaciones en el río Pisco, para ello se analizó un análisis de información hidrológica y posteriormente determinar caudales máximos para finalmente realizar el modelamiento hidráulico con el software HEC- Ras.

Orellana Cabello, R. E. (2021). En su investigación “Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS”. En primer lugar, se recolectó información pluviométrica y análisis estadísticos de las estaciones cercanas a la zona en estudio, luego ejecutó un análisis para determinar las precipitaciones en 24 horas, y con ello aplicar el modelo de precipitación-escorrentía utilizando el software HEC-HMS para obtener los caudales máximos. Finalmente, las áreas vulnerables a sufrir inundaciones fueron determinadas por el programa Hec Ras.

En el ámbito local, SENAMHI (1999), en el fenómeno el Niño del año 1997-98, la estación Tumbes registró una precipitación acumulada de 701.4 mm en el mes de febrero. Estas precipitaciones iniciaron el año 1997 y se incrementaron para el siguiente año.

Huamán Cangalaya, A. J. (2011), “Estudio de efectos del fenómeno de El Niño en sistemas de agua y alcantarillado para ciudades del noroeste del Perú”. Manifiesta que las inundaciones en la urbe de Tumbes se intensifican por los siguientes motivos:

- a. La parte urbana de la ciudad está situada sobre un terreno ondulado, además, el crecimiento acelerado de la población ha conllevado que habiten zonas cercanas a las quebradas. Cuando se presentan precipitaciones máximas de gran intensidad, las corrientes de agua generan áreas de inundación.
- b. La ciudad de Tumbes se afectada por las inundaciones, debido al incremento del caudal del Río, llegando afectar la plaza de armas cuando el volumen de agua sobrepasa los 3000 m³ /s – como ocurrió en el fenómeno del año 1983.

INGEMMET, (2017); en su informe técnico “Evaluación Geológica De Las Zonas Afectadas Por El Niño Costero 2017 En La Región Tumbes”. La quebrada Luey es una zona que presenta deslizamientos y derrumbes. Además, la zona presenta deforestación vulnerable a eventos extremos de precipitaciones. Así quedo demostrado en el fenómeno del niño costero donde se vieron afectadas viviendas por inundación por encontrarse dentro del cauce antiguo de la quebrada Luey.

Senamhi, (2022); en su informe técnico “Inventario De Datos De Eventos De Inundaciones Del Perú”. Los principales riesgos que afrontan los pobladores que se encuentran cercanos a la quebrada Luey, son: Inundación y arrastre de sedimentos, Activación de quebradas con crecidas y desbordes.

2.2. BASES TEÓRICAS

HIDROLOGIA

Es la ciencia que estudia el agua, su origen, transporte y distribución, sus propiedades químicas, físicas y su relación con el medio ambiente (Chow et al. 1994).

PRECIPITACIÓN

Incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. Chow (1994).

FENÓMENO EL NIÑO

Dentro de los fenómenos naturales recurrentes en nuestra costa peruana son las inundaciones en su mayoría se deben a la recurrencia del fenómeno el niño, el cual SENAMHI, (2014) indica que “una de las manifestaciones más significativas de la variabilidad interanual del clima de nuestro planeta.” (p.7)



Figura 1: Afectaciones del Fenómeno El Niño 2017

CUENCA HIDROGRAFICA

La cuenca Hidrográfica se puede definir geográficamente como el borde o lugar donde se acumula porciones de agua en un mismo lugar (Gálvez, 2011), existen también cuencas hidrológicas diferenciadas por las aguas que comprenden, siendo estas subterráneas y las hidrográficas solo aguas superficiales. (Calderón, 2016) En todo estudio hidrológico e hidráulico, es fundamental determinar los parámetros geomorfológicos. Para ello emplean los sistemas de información geográfica.

✓ **Área**

Es el parámetro más relevante, ya que el tamaño de la cuenca se relaciona con la cantidad de los volúmenes generados (caudales) por la precipitación en ella.

✓ **Perímetro**

Corresponde con la longitud de toda la superficie dada por el divortium aquarum.

✓ **Longitud de la cuenca**

Distancia horizontal de un punto aguas abajo del cauce principal hacia otro punto aguas arriba del mismo cauce.

✓ **Ancho de la cuenca**

Es el dato promedio que se obtiene del cociente entre el área de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca.

✓ **Índice de Compacidad (Kc)**

Compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$$

Donde

P: perímetro de la cuenca

Pc: perímetro de la circunferencia

Tabla 1: Características de la cuenca según el valor Kc

CLASE DE FORMA	INDICE DE COMPACIDAD (K)	FORMA DE LA CUENCA
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval-oblonga
Clase III	mayor a 1.51	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: (Guevara & Cartaya, 1991)

✓ **Factor de forma**

Este valor refleja cómo la forma de la cuenca influye en la rapidez con la que el agua fluye hacia el punto de salida, indicando su predisposición a un aumento en el caudal de agua durante eventos de precipitación.

Tabla 2: Características de la cuenca según el valor Kf

Tabla 1-1. Rangos aproximados del Factor de Forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez, 1979

✓ **Longitud del cauce**

Es la media existente desde la cota de afluencia hasta el punto de descarga.

✓ **Altitud media**

Se fundamenta en la conexión entre el área y la altura, considerando los diferentes niveles de elevación dentro de la cuenca y el espacio abarcado entre ellos.

$$E = \sum \frac{(a_i \times e)}{A_c}$$

Dónde:

E= Altitud media de la cuenca.

ai= Área entre dos curvas de nivel sucesivas.

e= Altura media entre dos curvas de nivel sucesivas.

A_c= Área de la cuenca

✓ **Pendiente de la cuenca**

Parámetro que depende de la topografía del terreno y puede ser expresada en grados o porcentaje. Este indicador refleja la velocidad promedio del flujo de agua y, por ende, su capacidad de transporte y erosión. (Ibañez, Moreno, & Gisbert Blanquer, 2011)

$$J = 100 * \frac{\sum L_i x E}{A}$$

Donde:

J: pendiente media de la cuenca.

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E: Equidistancia de las curvas de nivel (km).

A= área de la cuenca (km²).

✓ **Pendiente de la corriente principal**

Es definido por el perfil topográfico del cauce principal. Se puede determinar mediante la diferencia entre la cota mayor y cota mínima del cauce, dividida por su distancia total, o se puede dividir por “n” tramos y calcular la pendiente media de esta manera

$$S = \frac{n}{\sum (\frac{1}{\sqrt{S_i}})^2}$$

✓ **Curva Hipsométrica**

Representa el porcentaje de área que existe en la cuenca por encima de un valor de altura determinado. Es fundamental para reconocer las tipologías fisiográficas de las cuencas hidrográficas.

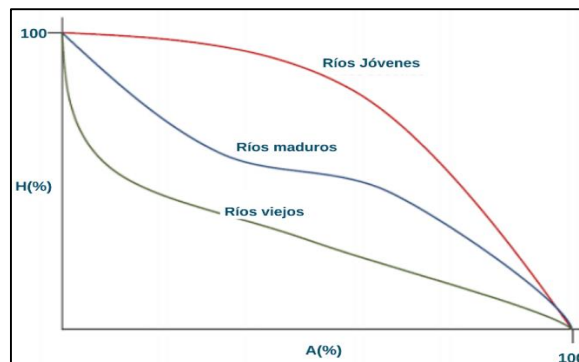


Figura 2: Edad del río según la curva granulométrica

✓ **Densidad de drenaje**

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la red de drenaje y la superficie total de la cuenca hidrográfica.

$$D = L_t / A$$

Donde:

L: Es la longitud total de las corrientes de agua, en km

A: Es el área total de la cuenca, en km²

ANALISIS DE LA INFORMACION DE PRECIPITACION

Para asegurar un uso correcto de los datos de precipitaciones diarias, es esencial realizar análisis estadísticos que proporcionen información confiable.

Según el método de Water Resources Council, para conocer la calidad de los datos proporcionados por la DGA (Dirección General de Aguas) y con ello aplicar un correcto estudio de frecuencia y obtener la mejor función densidad de probabilidad (FDP) que se ajuste a cada estación.

La ecuación que se presenta a continuación puede ser empleada para identificar posibles datos atípicos, tanto en valores altos como en valores bajos.

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

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

Donde:

- y_H: Banda superior de los logaritmos de los valores de caudales o precipitaciones.
- y_L: Banda inferior de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.
- y: Media aritmética de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.”
- K_n: Coeficiente que depende del tamaño de la muestra caudales o precipitaciones.
- S_y: Desviación estándar de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

Los resultados deben ser aplicados como sustituciones en la siguiente expresión, manteniendo la coherencia técnica del análisis.

$$PH = 10^{XH} \quad PL = 10^{XL}$$

Donde:

- PH: Precipitación máxima aceptada
- PL: Precipitación mínima aceptada

Después de obtener las precipitaciones máximas en un período de 24 horas, validadas a través del análisis de datos dudosos, se llevó a cabo una corrección de los valores multiplicándolos con el factor de seguridad de 1.13, siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial. (WMO, 1986), que toma en cuenta el número de lecturas en pluviómetro, que en el caso de las estaciones utilizadas se registran una vez al día.

Tabla 3: Factor de ajuste para corrección de datos de PMax

Número de observaciones	1	2	3-4	5-8	9-2	>24
Factor de ajuste	1.13	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

Fuente: Guía de Practicas Hidrológicas Volumen II. OMM-Nº 168

Modelos Probabilísticos usados en Hidrología para Valores Extremos

El hidrólogo cuenta con registros hidrometeorológicos, que incluyen información sobre precipitación, caudales, evapotranspiración, temperaturas, entre otros. Para emplear estos modelos probabilísticos, es necesario calcular sus parámetros y realizar pruebas de bondad de ajuste. Si el ajuste es satisfactorio, se puede utilizar la distribución elegida para predecir, con cierto grado de certeza, la magnitud de un determinado evento natural. Asimismo, se puede determinar la dimensión de un fenómeno para un periodo de tiempo determinado. (Villón, 2004).

Los valores extremos se refieren a los máximos o mínimos destacados de conjuntos de datos. Dentro de las diversas distribuciones de valores extremos, hay dos que se adecuan a las investigaciones sobre crecidas de ríos y/o datos de precipitaciones máximas anuales: la distribución de valores extremos de Gumbel y la distribución Log-Pearson Tipo III. (Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L.; 2000).

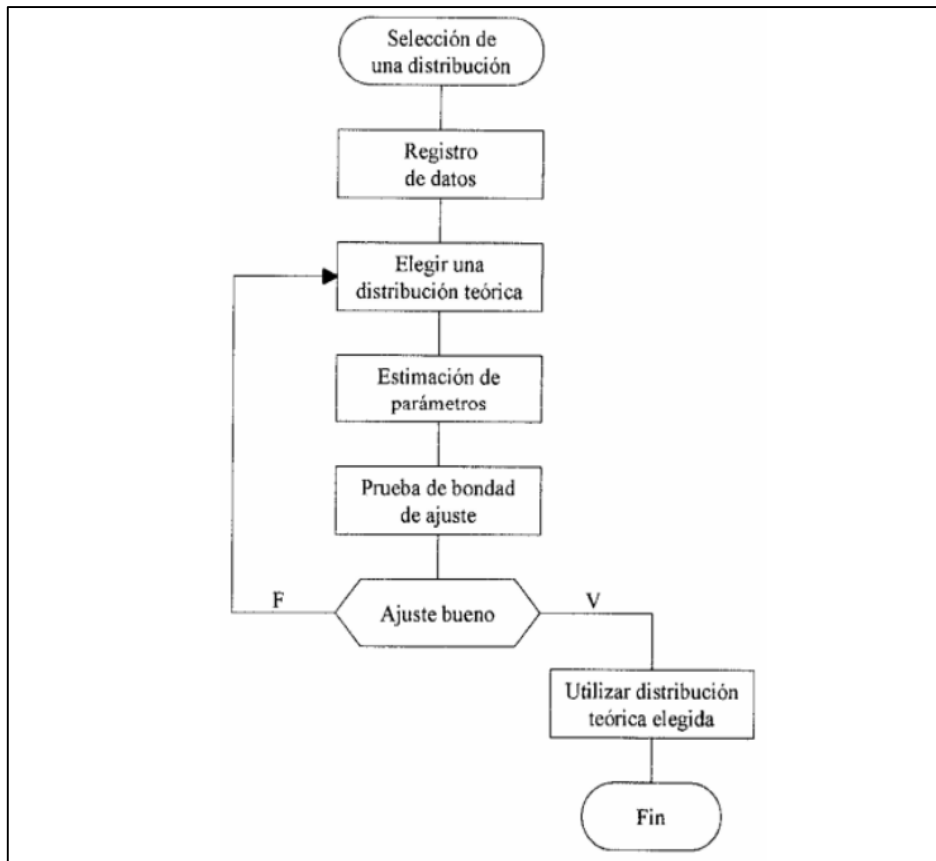


Figura 3: Algoritmo de Tratamiento de Datos Hidrológicos

Fuente Villon, 2006

Dentro del ámbito de la estadística, se encuentran diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas. Entre ellas, el Manual de Drenaje e Hidrología del Ministerio de Transporte y Comunicaciones hace referencia a las siguientes como recomendadas.:

✓ **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

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

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x =variable independiente

μ =parámetro de localización, igual a la media aritmética de x

S =parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

✓ **Distribución Log Normal 2 Parámetros**

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx$$

Donde \bar{x} y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación correspondiente a la distribución normal se sustituye por la función $y=f(x)$, tal que $y=\log(x)$, la función puede normalizarse, t obteniendo una ley de probabilidades denominada log – normal, N(Y, Sy). Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \text{Log } x_i / n$$

Donde Y es la media de los datos de la muestra transformada

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}}$$

Donde Sy es la desviación estándar de los valores de la muestra transformada. Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = a/S^3 y$$

$$a = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada. (Monsalve, 1999).

✓ **Distribución Log Normal 3 Parámetros**

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2 \left(\frac{\text{Ln}(x-x_0)-U_y}{S_y} \right)^2}$$

Para $x > x_0$

Donde:

X_0 : parámetro de posición

U : parámetro de escala o media

Sy^2 : parámetro de forma o varianza

✓ **Distribución Gamma 2 Parámetros**

La función de densidad es:

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

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

✓ **Distribución Gamma 3 Parámetros**

La función de densidad es:

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

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : origen de la variable x , parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

✓ **Distribución Log Pearson Tipo III**

La función de densidad es:

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

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

✓ **Distribución Gumbel**

Supóngase que se tienen N muestras, cada una dispone de “ n ” eventos. Si se elige el máximo “ x ” de los “ n ” eventos de cada muestra, es potencial demostrar que, a medida que “ n ” aumenta, la función de distribución de probabilidad de “ x ” tiende a:

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

La función de densidad de probabilidad es:

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

Donde α y β son los parámetros de la función.

Los parámetros α y β , se estiman para muestras muy grandes, como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad \beta = \bar{x} - 0.45S$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

Para muestras relativamente pequeñas, se tiene:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$

$$\beta = \bar{x} - u_y / \alpha$$

Los valores de μ_y y σ_y se encuentran en tablas.

✓ **Distribución Log Gumbel**

La variable aleatoria reducida log gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE

Definida con la letra D, se evalúa la discrepancia entre la función de distribución de probabilidades de la muestra, denotada como $P(x)$, y la función de distribución de probabilidades teórica seleccionada, representada como $P_0(x)$.

$$D_n = \max | P(x) - P_0(x) |$$

Para que el test pueda considerarse satisfactorio, es necesario que el valor calculado D_n , obtenido con la expresión mencionada, sea inferior al valor tabulado D_α correspondiente a un nivel de significancia (o probabilidad) específico. El valor crítico D_α se obtiene de una tabla, que varía dependiendo del nivel de significancia α y el tamaño de la muestra n .

Realizado el análisis mencionado anteriormente, seleccionamos la distribución que mejor se ajusta para calcular las P_{max} en 24h en diferentes tiempos de retorno.

ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS

A) METODO DE CREAGUER

El método comúnmente usado en Perú para calcular los caudales de avenida es el método de Creager, el cual incluye en su fórmula el periodo de retorno, el área y coeficientes variables según la región del país

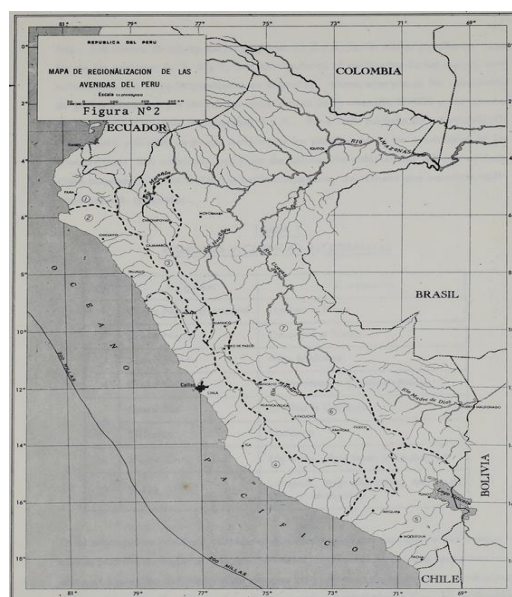


Figura 4: Regionalización de avenidas en territorio (Trau-Gutierrez, 1979)

A través de métodos regionales, podemos estimar caudales máximos considerando el área como el parámetro principal, además constantes que están en relación con la ubicación de las cuencas de la costa del Perú elaboradas por Trau y Gutierrez (1979), mediante la expresión:

$$Q_{m\acute{a}x} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{mA^{-n}} \quad (1)$$

Donde:

Qmax: Caudal máximo

T: Periodo de retorno

A: Área de la cuenca

C1, C2, m, n: Constantes para las diferentes regiones del Perú.

Tabla 4: Constantes regionales del Perú para el método Creager

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

B) MÉTODO RACIONAL

El método racional parte del supuesto de que la escorrentía en una cuenca determinada se genera a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo y en toda su extensión. Por lo tanto, al aplicar este método, es fundamental asegurarse de que ninguno de estos factores pueda incidir de manera significativa en los cálculos.

- ✓ Aportación de caudales procedentes de otras cuencas o trasvases a ellas.
- ✓ Existencia de sumideros, aportaciones o vertidos puntuales, singulares.
- ✓ Accidentales de cualquier clase.

- ✓ Presencia de lagos, embalses o planas inundables que puedan producir efecto laminador o desviar caudales hacia otras cuencas.
- ✓ Caudales que afloren en puntos interiores de la cuenca derivados de su régimen hidrogeológico.

Las variables del método racional son el coeficiente de escorrentía superficial, intensidad de precipitación y el área de la cuenca aguas arriba de la ubicación correspondiente a la estructura de drenaje, que para esta investigación es un puente de doble vía.

$$QP = C * i * A$$

QP corresponde a una lluvia de intensidad *i* sobre un área de drenaje *A*, siendo QP el caudal máximo de escorrentía superficial

Determinación del coeficiente de escorrentía

La primera variable que se presenta es el coeficiente de escorrentía, el cual puede ser cambiante a lo largo de la cuenca, debido al tipo de y uso del suelo actual.

Tabla 5: Valores del coeficiente de escorrentía

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		>50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.01

B) MODELO HEC HMS

Es un modelo lluvia escorrentía, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center HEC del U.S. Army Corps of Engineers USACE, diseñado para simular el hidrograma de escorrentía generado en un punto específico de la red fluvial como resultado de un evento de lluvia. (Bedient y Huber, 1992).

SIMULACIÓN HIDRAULICA

Mamani, H, (2014), Para conocer la respuesta que tendría un evento natural, es necesario representar un modelo a escala de la realidad. Las ventajas de usar un modelo los siguientes.

1. Permite organizar los conocimientos técnicos y sus observaciones empíricas
2. Entendimiento del sistema.
3. Aprecia la necesidad del detalle.
4. Acelera análisis.
5. Permite calibrar y/o hacer modificaciones del sistema.
6. Permite más fuentes de variación que lo que permitiría el estudio directo de un sistema.
7. Es menos costoso.

Según Villon, M. (2016), el HEC-RAS es el nombre compuesto de las siglas en inglés, HEC (Hydrologic Engineering Center ó Centro de Ingeniería Hidrológica) y RAS (River Analisis System ó Sistema de Análisis de Ríos), es un software que facilita la modelación Hidráulica en régimen permanente y no permanente, transporte de sedimentos y análisis de calidad de agua en cauces abiertos, ríos y canales artificiales. Por otro lado, el uso de HEC-RAS posibilita conocer las zonas inundables que pueden originarse en un cauce.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

HIDROLOGÍA

Se encarga de estudiar el recurso hídrico y todo lo relacionado a sus fenómenos que pueden darse en la atmósfera o en la superficie terrestre.

CICLO HIDROLÓGICO

En general, se convierte en el principal foco de investigación en hidrología. Una gran parte del agua superficial y oceánica se evapora de regreso a la atmósfera y luego se condensa y deposita en la superficie o en el océano.

CUENCA HIDROGRÁFICA

Se refiere al espacio natural o región delimitada por una división topográfica (Divortium Acuarium), que recoge la precipitación y canaliza el agua de escorrentía hacia un colector compartido conocido como río principal. (Vásquez, Villanueva 2000)

HIDRÁULICA

Es una rama de la ingeniería que estudia las propiedades mecánicas de los fluidos, las cuales dependen de las fuerzas que se interpongan con la masa (fuerza) y empuje de esta.

PRECIPITACIÓN

Es la caída de partículas de agua en estado sólido o líquido, siendo una parte fundamental del ciclo hidrológico dando origen a todas las corrientes de agua superficiales y profundas.

QUEBRADA

Es una corriente natural de agua que tiene una trayectoria, la cual posee un volumen determinado y lo conduce hacia el océano, lago u otro río, en cuyo caso se denomina afluente.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se denomina así al tiempo que una gota de lluvia demora en llegar desde la cota más alta hasta la desembocadura de la cuenca en condiciones de escorrentía superficial. Este parámetro está directamente relacionado con los factores de topografía, cobertura vegetal, características del suelo, etc. (Chow et al, 1994).

INUNDACIÓN

Es un fenómeno que corresponde al desbordamiento del flujo de los ríos y quebradas debido al aumento del volumen de agua ocasionando que el agua ocupe una parte zonas que habitualmente están libres de esta.

INTENSIDAD

Indica la cantidad de agua que se precipita en un lapso dado. En el contexto de cada tormenta, lo más importante es la máxima intensidad registrada, que representa la mayor cantidad de agua caída en un período de tiempo específico. (Villón, 2004).

DURACIÓN

Se refiere al lapso que abarca desde el inicio hasta el final de la tormenta. Es útil establecer el periodo de duración, el cual se define como un intervalo de tiempo, medido en minutos u horas, dentro del lapso total que dura la tormenta. (Villón, 2004).

FRECUENCIA

Se refiere al número de veces que ocurre una tormenta con características específicas de intensidad y duración dentro de un periodo de tiempo relativamente amplio. (Villón, 2004).

PERIODO DE RETORNO

Se refiere al promedio del tiempo en el cual se espera que ocurra un evento de magnitud x, al menos una vez en promedio. (Villón, 2004).

CURVA IDF

Es una representación gráfica que muestra la relación entre la duración (equivalente al tiempo de concentración) y un periodo de retorno seleccionado, con el propósito de calcular la máxima intensidad de diseño. (Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L.; 2000). •

TIRANTE HIDRÁULICO:

Indica la distancia entre la lámina de agua y el fondo del canal. (Chow, V. 1983).

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES E INSUMOS

- Modelo de elevación digital, (*Fuente: Landviewer*). Servirá para delimitar la subcuenca Luey.
- Registro de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación campamento sede.

EQUIPOS

- Laptop acer (CORE i5). servirá para procesar la información, realizar el informe, y uso de softwares.

SOFTWARES

- QGIS 10.6, Para la elaboración de mapas temáticos.
- Google Earth, Para conocer el área en estudio.
- HEC – RAS, Para la modelación hidráulica.
- Hidroesta 2, Para determinar el modelo probabilístico que mejor se ajuste.
- Excel versión 2016, Para el análisis estadístico de los datos de precipitación máxima en 24 horas.
- Word versión 2016, Para redactar el informe final del proyecto de tesis

3.2. UBICACIÓN DE LA ZONA

3.2.1 UBICACIÓN GEOPOLÍTICA

Región	: Tumbes
Provincia	: Tumbes
Distrito	: Tumbes
Centro poblado	: Andrés Araujo Moran

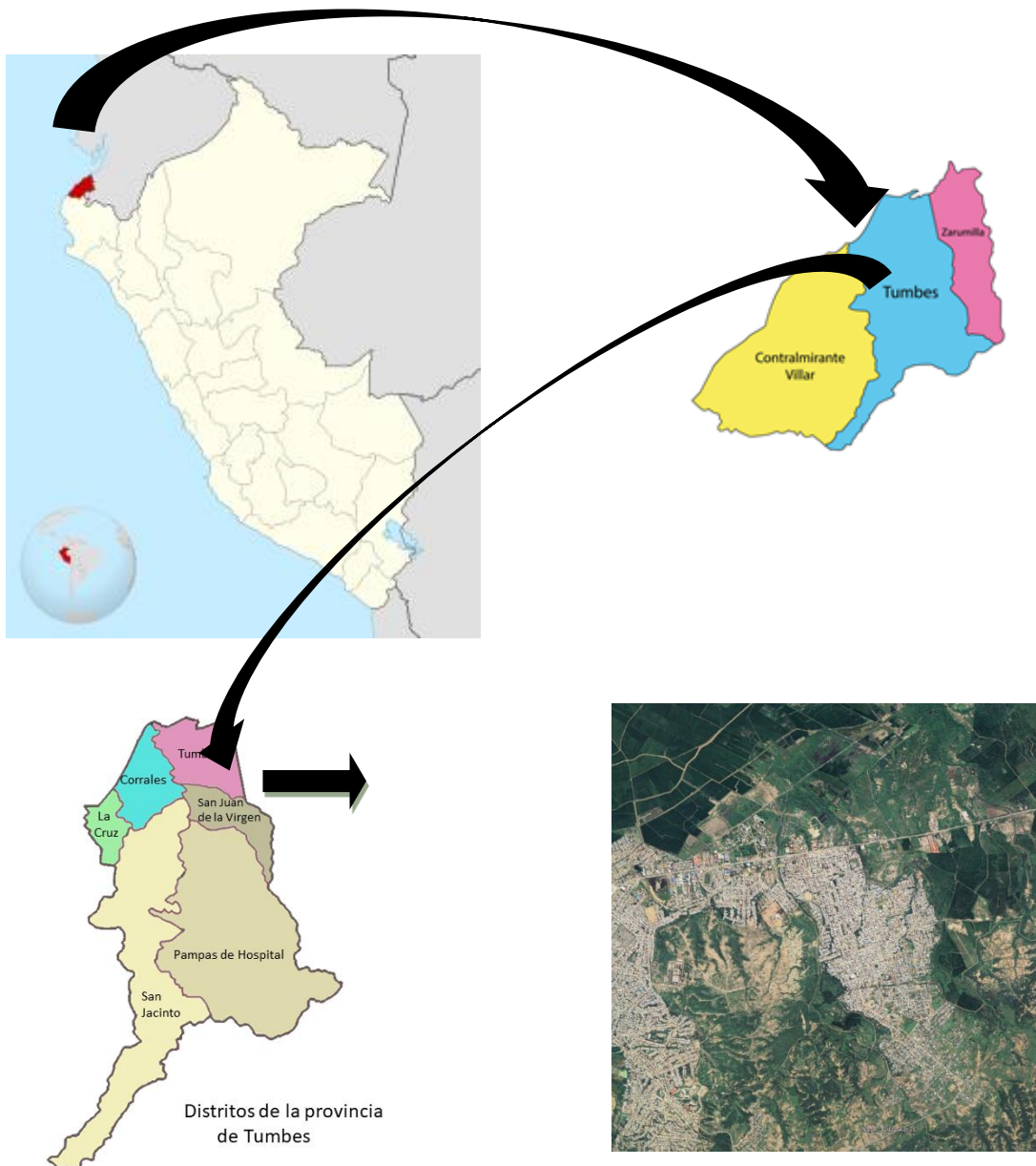


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio

3.2.2 UBICACIÓN GEODÉSICA

Inicio: 563977 m, Este / 9607262 m, Norte

ALTITUD: 11 msnm

Fin: 563194 m, Este / 9608047 m, Norte

ALTITUD: 11 msnm

3.3. FASE DE CAMPO

3.3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

La fase inicial del proyecto implicó llevar a cabo un levantamiento topográfico exhaustivo del área de estudio, con la meta final de generar un Modelo Digital del Terreno con la mayor precisión alcanzable.



Figura 6: Levantamiento Topográfico con Dron



Figura 7: Foto satelital del vuelo con Dron

3.3.2. MEDIDAS TOMADAS EN CAMPO

Para recabar los datos requeridos, se llevaron a cabo verificaciones en puntos accesibles a lo largo de la quebrada, con el objetivo de confirmar la presencia de un dique de mampostería en ambas orillas del curso principal, aproximadamente a 1.5 km aguas arriba del puente.



Figura 8: Confluencia de aportante en cauce de la quebrada Luey



Figura 9: Marca de agua correspondiente a un evento maximo

Se determino una marca de agua a una altura de 1.10m tomando como referencia el eje del cauce.

3.4. FASE DE GABINETE

3.4.1. CARACTERIZACION DE LA CUENCA

La delimitación de cuencas hidrográficas se hace imprescindible para análisis territoriales, para este proceso se necesita como insumo principal un MDE (Modelo Digital de Elevaciones) proveniente del satélite Alos palsar.

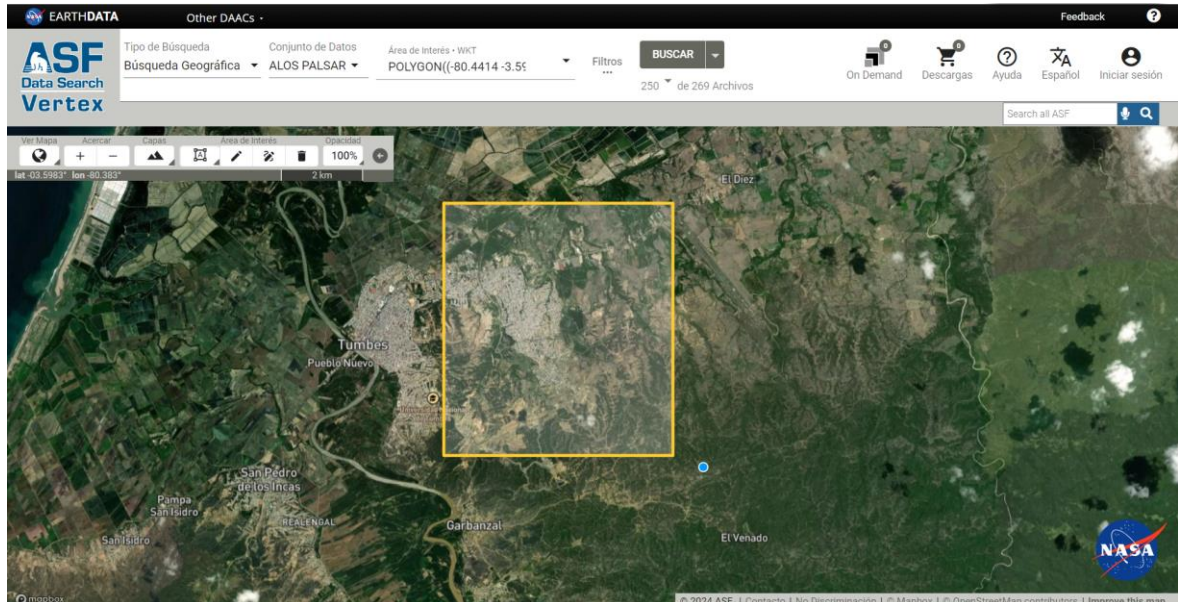


Figura 10: Sitio Web para descarga del MDE ALOS PALSAR

ArcGis dispone de una caja de herramientas para distintos procesos, uno de estas es Hydrology, el cual será utilizado para realizar el proceso de delimitación de la cuenca

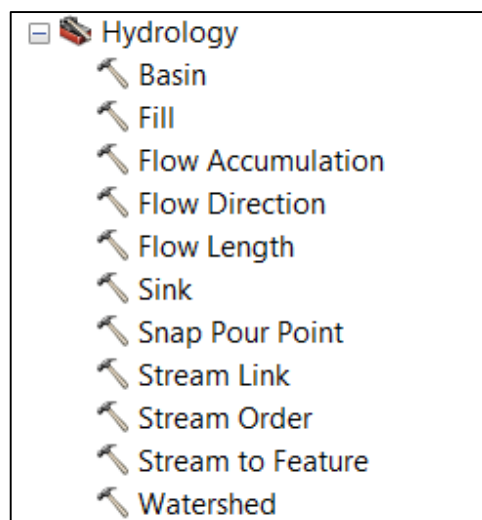


Figura 11: Herramientas del arctolbox Hydrology

El procedimiento a seguir, después de tener el MDE en la interfaz del Arc Map se detallan a continuación.

- ✓ Se procede a eliminar los sumideros con la herramienta fill: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill*

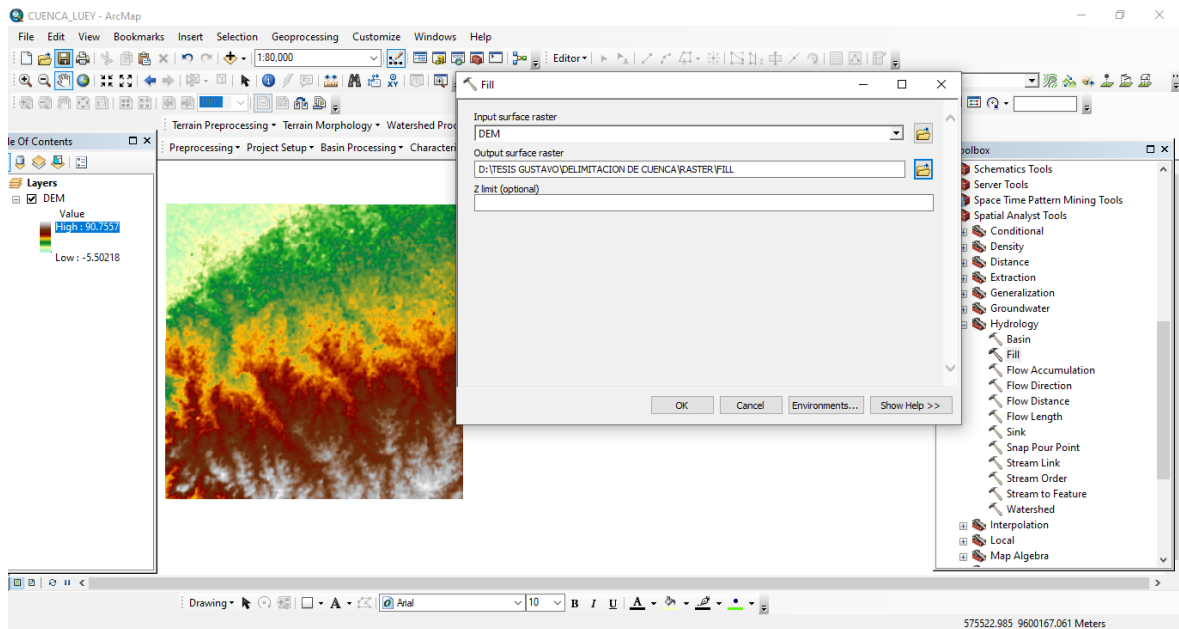


Figura 12: Relleno de sumideros

- ✓ Se establece la dirección del flujo de la pendiente con la herramienta Flow Direction: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction*

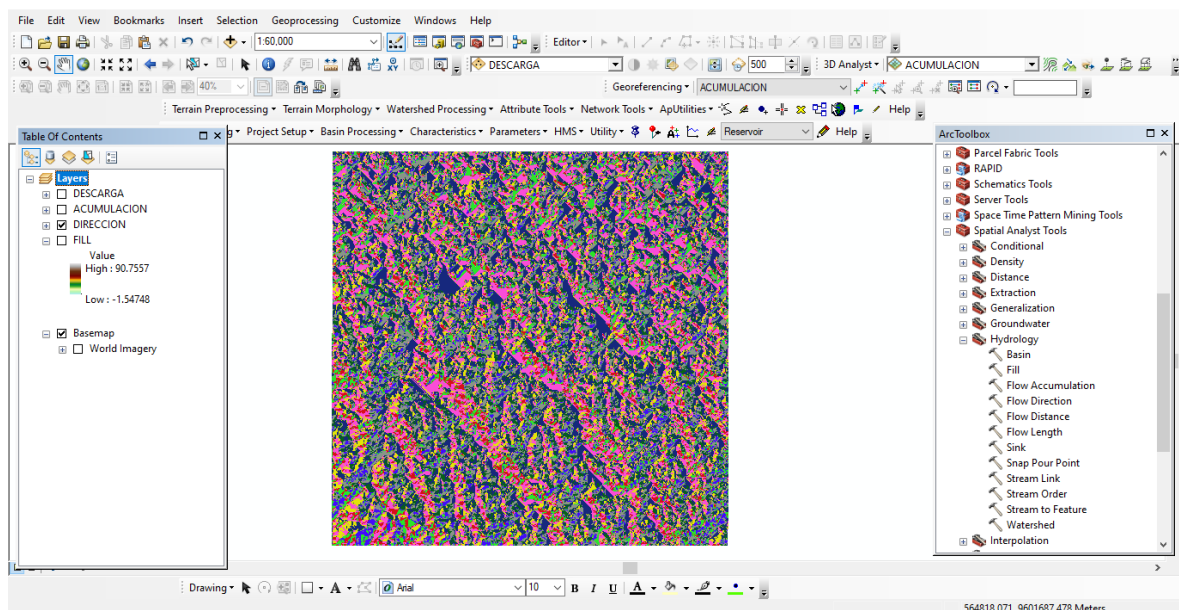


Figura 13: Cálculo de la dirección del flujo

- ✓ Se Determina la acumulación del flujo de las celdas: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation*

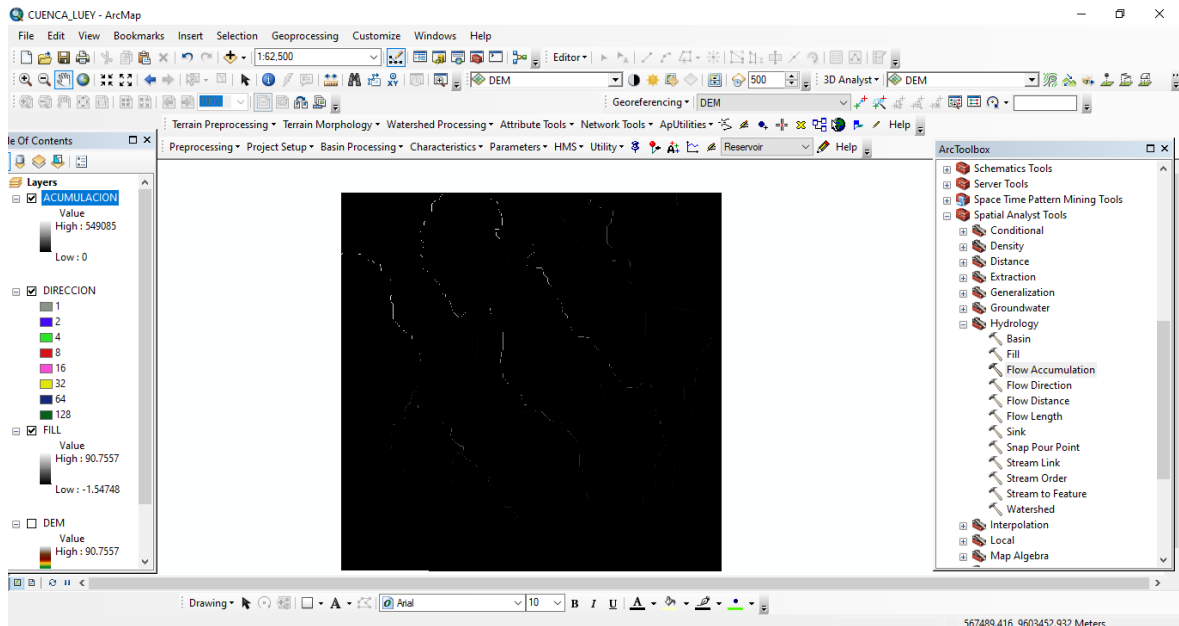


Figura 14: Calculo del flujo acumulado

- ✓ Para construir la red hídrica se utiliza la calculadora raster en el que un valor **> 2500** del flujo acumulado representa los cursos de agua mas importantes. *ArcToolbox > Spatial Analyst > Conditional > Con*

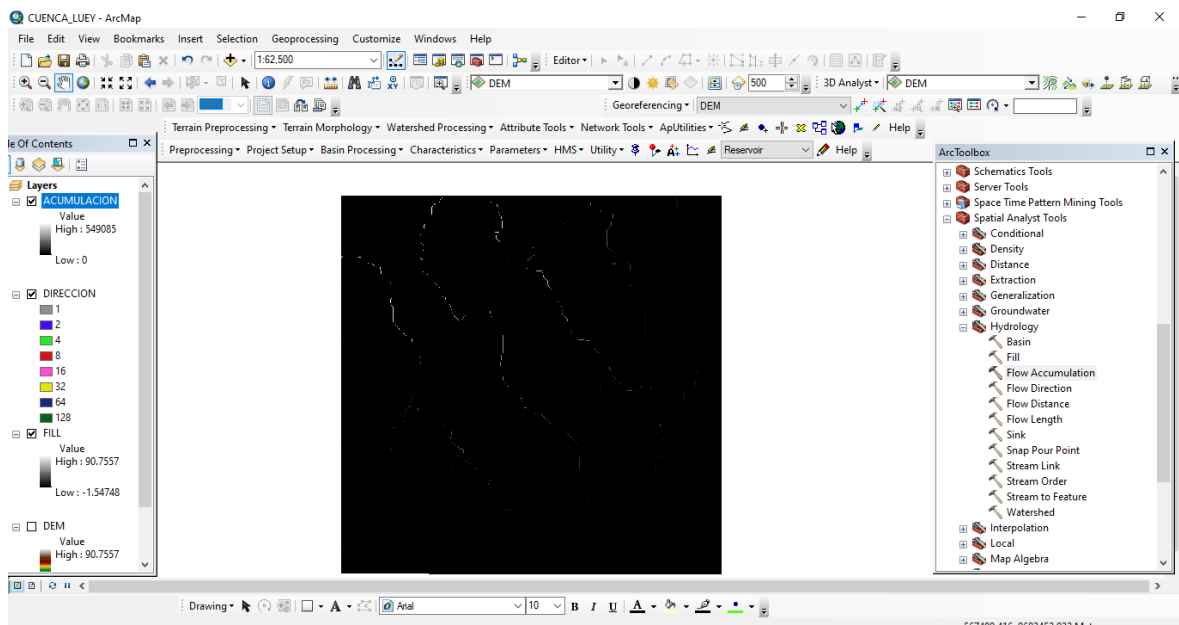


Figura 15: Construcción de la red de drenaje

- ✓ Para determinar la red hídrica en formato vectorial primero se requiere preparar el ráster de acumulación modificado con el condicional: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Link*

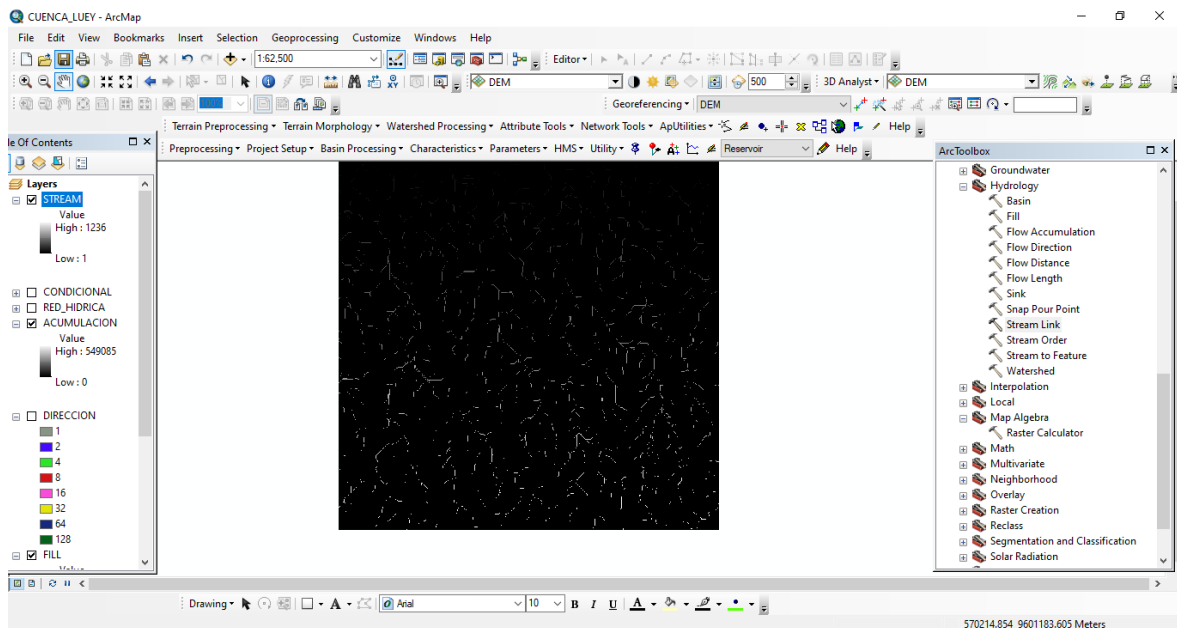


Figura 16: Uso de la herramienta Stream link

- ✓ Se procede a fijar el orden de la red hídrica usando la herramienta Stream Order: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Order*

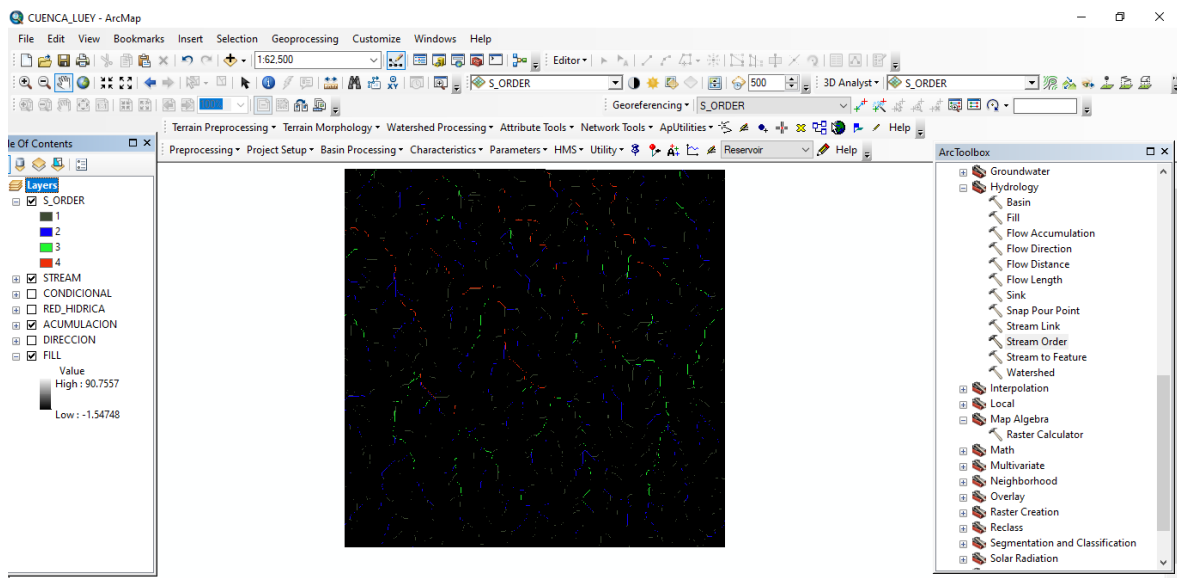


Figura 17: Uso de la herramienta Stream order

- ✓ Convertir de ráster a vector la red hídrica: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream to Feature*

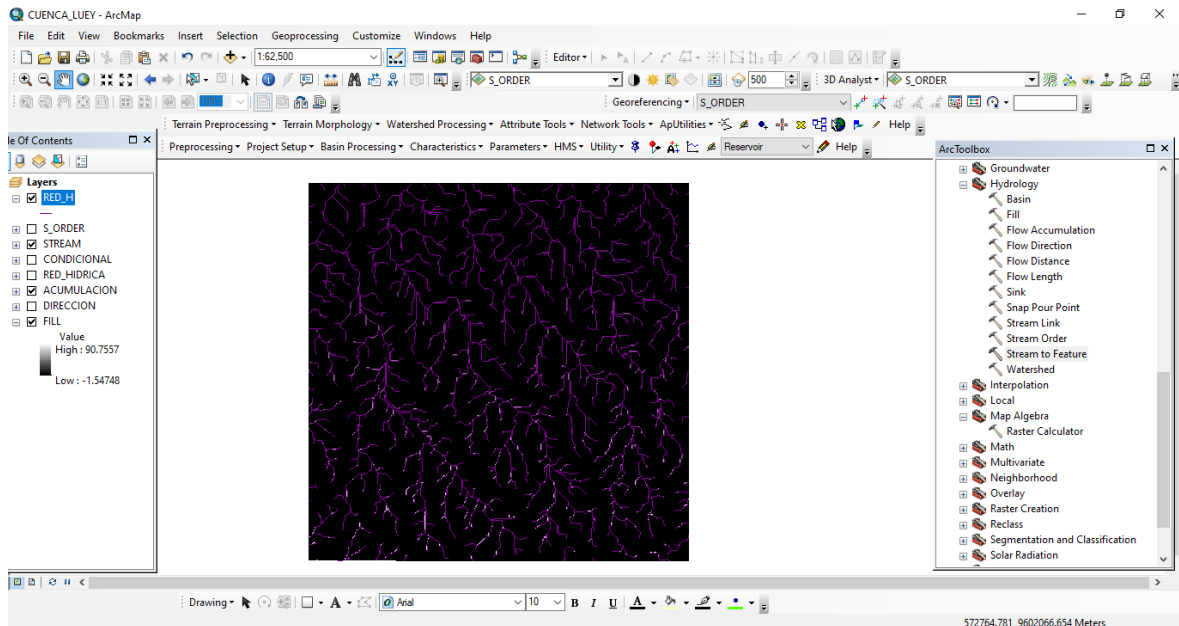


Figura 18: Uso de la herramienta to feature

- ✓ Se establece el punto de salida de la cuenca, mediante un archivo vectorial del tipo punto. *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Snap Pour Point*

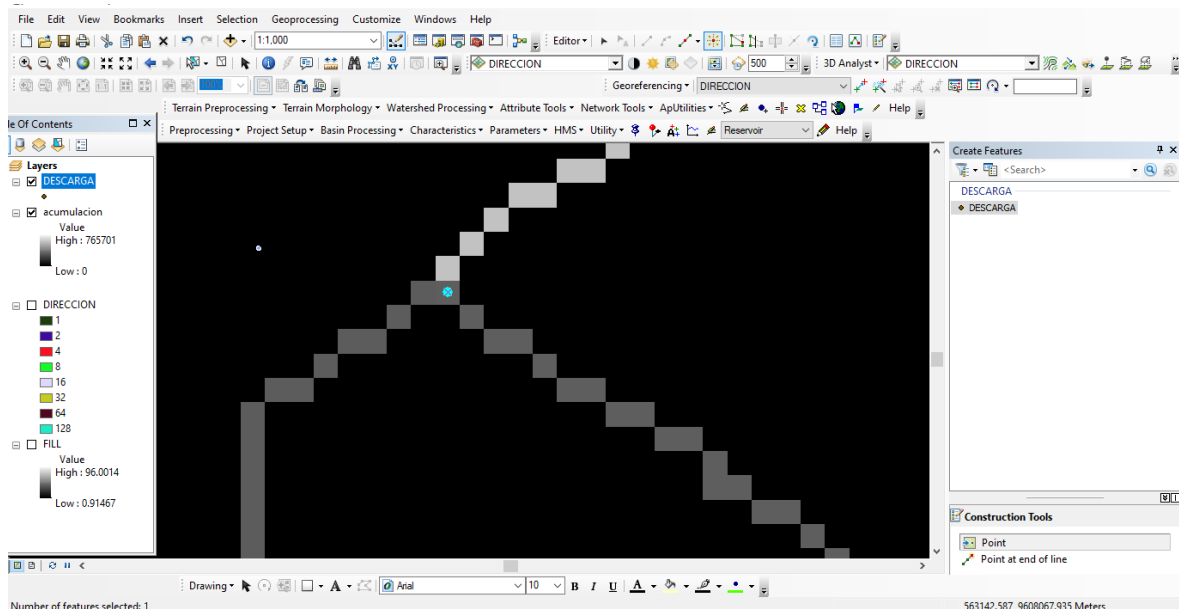


Figura 19: Creación del punto de defogue

- ✓ Para culminar la delimitación se utiliza la herramienta **Watershed** *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed*

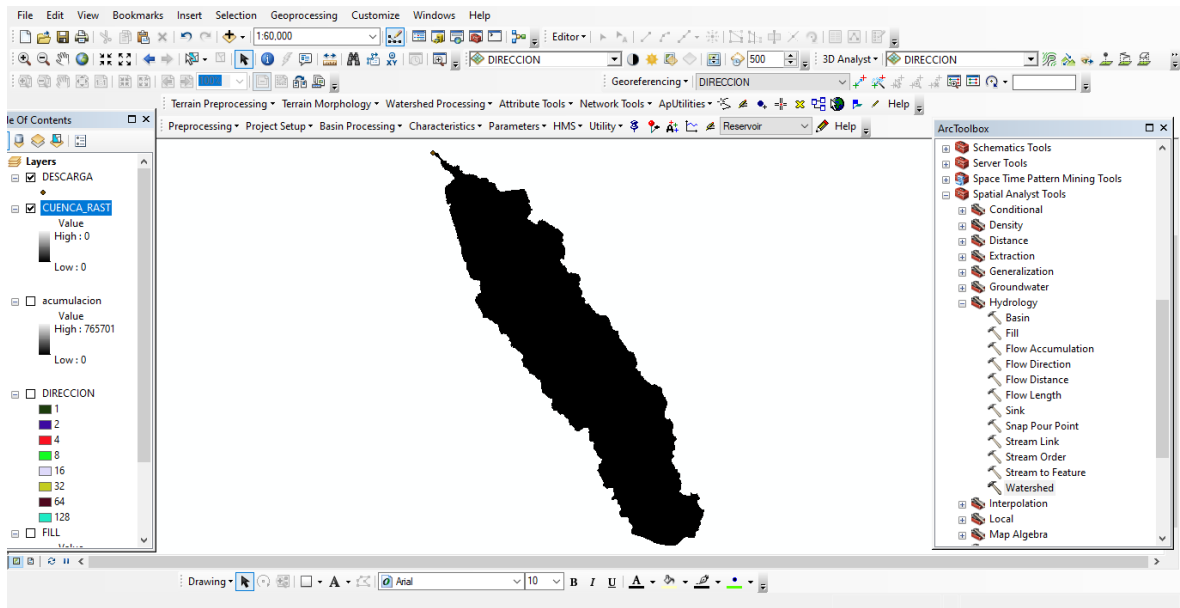


Figura 20: Creacion de la cuenca con la herramienta Watershed

Finalmente, para obtener el polígono de la subcuenca tan solo basta en convertir el ráster a shapefile tipo polígono usando la herramienta Raster to Polygon.

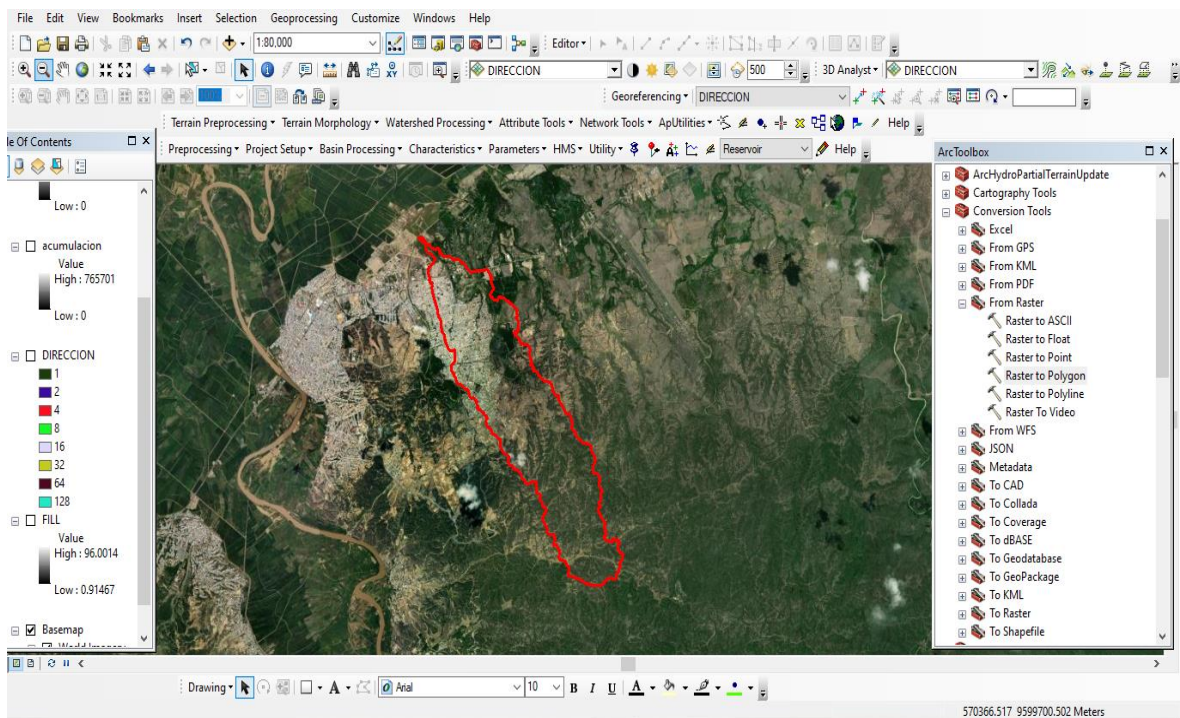


Figura 21: Conversión de la cuenca en formato vectorial

3.4.2. RECOLECCIÓN Y ANALISIS DE DATOS DE P MAX 24 HRS

Se dispone de información hidrológica de la estación campamento sede del SENAMHI, del periodo 1983-2022.

Tabla 6: Datos de Pmax24h de la Estación Campamento Sede

Año	P max 24 horas
1983	160.40
1984	51.80
1985	19.90
1986	145.80
1987	94.30
1988	7.50
1989	63.50
1990	32.60
1991	26.10
1992	159.20
1993	44.00
1994	54.90
1995	54.80
1996	17.50
1997	121.20
1998	230.00
1999	155.70
2000	25.80
2001	35.50
2002	79.10
2003	51.30
2004	50.00
2005	15.50
2006	88.50
2007	47.00
2008	71.30
2009	67.00
2010	72.30
2011	20.00
2012	48.50
2013	30.90
2014	29.90
2015	78.60
2016	90.70
2017	103.40
2018	16.90
2019	44.00
2020	49.30
2021	43.60
2022	36.30

- Para el registro de precipitación máxima en 24 horas en la estación Campamento Sede se ha evaluado la consistencia de la información utilizando la prueba de datos dudosos (Outliers).
- Después de obtener las precipitaciones máximas en un período de 24 horas y confirmar su fiabilidad mediante un análisis, se llevó a cabo una corrección multiplicando los valores por un factor de seguridad de 1.13, siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial. (WMO, 1986)
- Se aplicará la prueba de bondad y ajuste con la prueba no paramétrico KOLMOGOROV SMIRNOV, para obtener la distribución de probabilidad que muestre un mejor ajuste a la serie de datos. Es un test válido para distribuciones continuas y es útil para muestras pequeñas y muestras grandes (Pizarro et al, 1986). Así mismo, Pizarro (1988), hace referencia a que, para aplicar este test, se debe determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada, obteniéndose el máximo de las diferencias entre ambas.

3.4.3. CURVAS IDF

Estas curvas indican la probabilidad de ocurrencia de intensidades de lluvia en períodos cortos para distintas duraciones. Normalmente se trata de un conjunto de curvas, cada una indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un período de retorno expresado en años (Varela et al., 2004).

Para su elaboración se hará uso de la metodología del Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, cuyos coeficientes para la distribución de la lluvia en 24 horas se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Factores de distribución de lluvia, según Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.79	0.90	1.00

3.4.4. BLOQUE ALTERNO

La técnica de bloques alternos proporciona información sobre cómo evoluciona la precipitación a lo largo de un periodo de 24 horas para distintos periodos de retorno. Esta táctica asegura una distribución temporal de la precipitación que se considera extremadamente severa en términos de generación de caudales máximos.

3.4.5. ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS

Al no existir información hidrométrica o aforos en la quebrada, la única manera de obtener caudales máximos es mediante el uso de los métodos empíricos que utilicen como insumo parámetros fisiográficos de la cuenca e información hidrológica.

Para estimar el caudal máximo en la quebrada se debe tener en consideración el levantamiento topográfico de la quebrada, es por ello que su estimación se realizara a partir de un punto de desfogue y con ello se ingresara el caudal para el tramo en modelación.

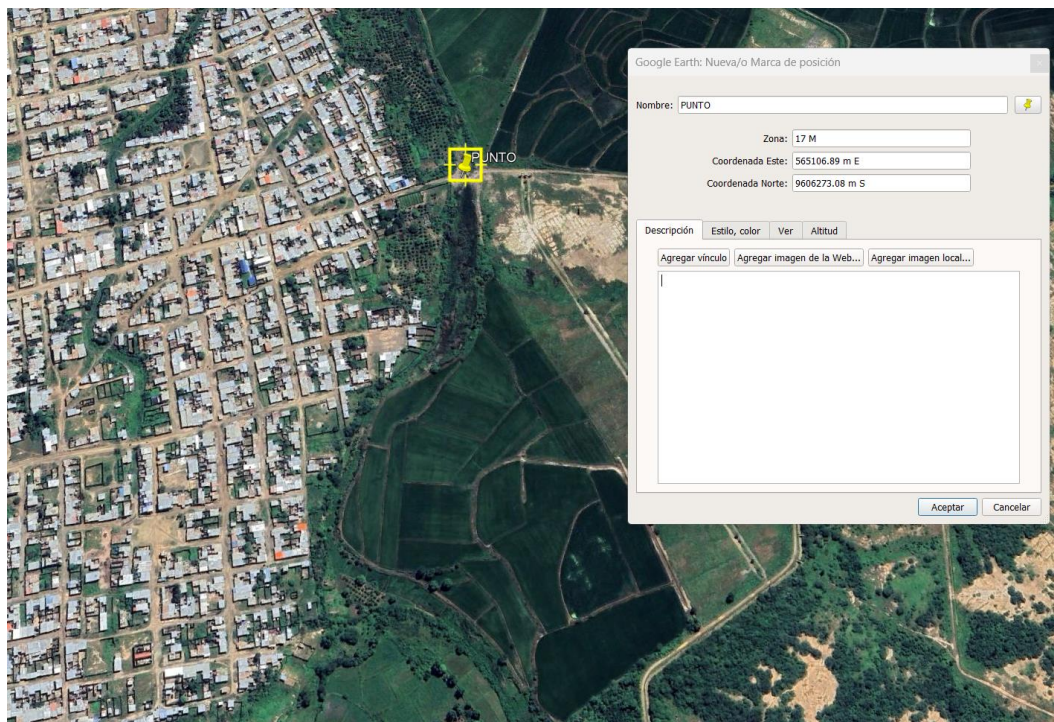


Figura 22: Punto de salida para estimar los caudales máximos en la quebrada Luey

- ✓ Para calcular el caudal con el método de Creaguer, se necesita tener como dato el área de la cuenca y su ubicación a partir del cual se tomarán valores de coeficientes c , m y n

Tabla 8: Coeficientes para el cálculo de caudal con Creaguer,

Región	1
C1	1.01
C2	4.37
m	1.02
n	0.04

- ✓ Para calcular el caudal con el método racional se ha determinado un promedio ponderado del coeficiente de escorrentía según la cobertura de suelo que se tenga en el área de aporte, así tenemos:

Tabla 9: Coeficiente de escorrentía ponderado para el método racional

DESCRIPCION	AREA (m2)	C	C x Area
Area urbana	1528379.32	0.55	840608.626
Cultivos	617816.729	0.25	154454.1823
Vegetacion ligera	1896655.38	0.40	758662.15
Vegetacion densa	4732878.55	0.10	473287.8547
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C PROMEDIO			0.25

- ✓ Para calcular el caudal con el modelo Hec Hms, SCS se ha determinado un promedio ponderado del mapa del número de curva proporcionado por el ANA.

Tabla 10: Numero de curva ponderado para modelo en HEC HMS

RANGO NC	AREA (m2)	NC prom	Ncprom x Area
55 - 66	5146374.41	61	311355651.7
74 - 81	3629355.53	78	281275053.5
NC ponderado			68

3.5. MODELACIÓN HIDRÁULICA

El modelo seleccionado para la simulación hidráulica fue el programa HEC-RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos). Las características específicas del modelo, su fundamento hidráulico y sus formulaciones y métodos de solución numéricos son tratados ampliamente en USACE (2010), documento que puede utilizarse como referencia hidráulica del modelo.

Los datos de entrada que utiliza el modelo HEC –RAS son la geometría del cauce ((perfiles y secciones transversales obtenidos de las campañas topográficas); los coeficientes de rugosidad estimados para cada tramo de cauce según las observaciones en sitio; las condiciones de frontera, aguas arriba y aguas abajo del tramo, específicas para cada caso; y los caudales de diseño para los diferentes períodos de retorno a analizar.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

4.1.1. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA

A continuación, se detallan los parámetros geomorfológicos obtenidos para la cuenca Luey, haciendo uso de los sistemas de información geográfica.

Tabla 11: Parámetros Geomorfológicos de la subcuenca Luey

PARAMETROS			UND	NOMENCLATURA	CUENCA
Superficie total de la cuenca			Km ²	At	11.748
Perímetro			Km.	P	22.797
UBICACIÓN	Zona de Proyeccion UTM		s/U	Zona	17
	X		m	Coord. X	565792.516
	Y		m	Coord. X	9604343.957
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coficiente de Compacidad (Gravelius)	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.876
		FACTOR DE FORMA	Longitud de la Cuenca	Km.	LB
	Ancho Medio de la Cuenca		Km.	AM = At / LB	1.135
	Factor de Forma		s/U	Kf = AM / LB	0.110
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	10.349
		Lado Menor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1-(1-4/\pi*Kc^2))$	1.135
Densidad de drenaje			Km./Km ² .	Dd = Lt / At	3.333
Frecuencia de los ríos			r/Km ²	Fr = N°Ríos / At	4.767
Desnivel total de la cuenca			Km.	Ht	0.090425377
Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	Hm	49
Pendiente cuenca (Analisis GIS)			%		8.33%
Pendiente cuenca (Met. Rectangulo Equivalente)			%	Ht / Lma	0.87%
Pendiente cuenca (Escogido)			%		0.87%
Longitud del cauce principal			Km		8.00%
Pendiente general del cauce principal (Taylor y Shuartz)			%	$\Delta h / L$	0.50%
Tiempo de Concentracion Kirpich			Hrs		4.06

4.1.2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

Se realizó la prueba de outliers, obteniendo que todos los datos se encuentran dentro del umbral máximo y mínimo, tal cual se detalla en la Figura 23.

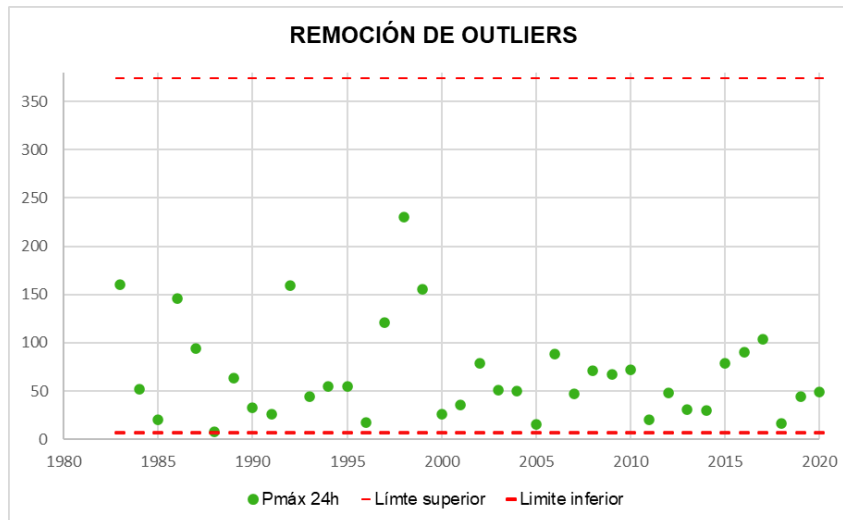


Figura 23: Prueba de datos dudosos

Respecto a la prueba de Bondad y Ajuste de Kolmogorov-Smirnov para la estación Campamento Sede, se ha utilizado el Software Hidroesta. Los cálculos se adjuntan en la Tabla 12.

Tabla 12: Valores de delta teórico y tabular para la estación Campamento Sede

Distribución teórica de probabilidades	Paámetros ordinarios			Metodo de momentos lineales		
	Δ teorico	Δ tabular	Se ajustan los datos?	Δ teorico	Δ tabular	Se ajustan los datos?
Normal	0.1744	0.215	SÍ	0.181	0.215	SÍ
Log-Normal de 2 parámetros	0.0728	0.215	SÍ	0.0736	0.215	SÍ
Log-Normal de 3 parámetros	0.064	0.2178	SÍ			NO
Gamma (2 parámetros)	0.0902	0.2178	SÍ	0.2002	0.2178	SÍ
Gamma (3 parámetros)	0.07629	0.2178	SÍ			NO
Log-Pearson tipo III			NO	0.10224	0.2178	SÍ
Gumbel	0.1085	0.2178	SÍ	0.1113	0.2178	SÍ
Log-Gumbel	0.1472	0.2178	SÍ	0.1524	0.2178	SÍ

Por lo tanto, la distribución que mejor se ajusta que es Log Normal 2 parámetros con un valor de 0.0728, de la cual se han obtenido las precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno (Ver Tabla 13)

Tabla 13: Precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno

Estación: CAMP. SEDE			
Periodo de retorno T(años)	Propabilidad de excedencia q	Precipitación correspondiente XT (mm)	Precipitación corregida XT (mm)
2	0.500	51.19	57.8447
5	0.200	95.52	107.9376
10	0.100	132.39	149.6007
25	0.040	187.48	211.8524
50	0.020	234.71	265.2223
100	0.010	287.26	324.6038
500	0.002	432.41	488.6233

De dichos valores se ha podido elaborar por la metodología del Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito la fórmula que representa la relación Intensidad Duración Frecuencia

$$I = \frac{122.3105 * T^{0.374599}}{0.54001 t}$$

La curva que representa las anteriores variables se muestra en la siguiente figura.

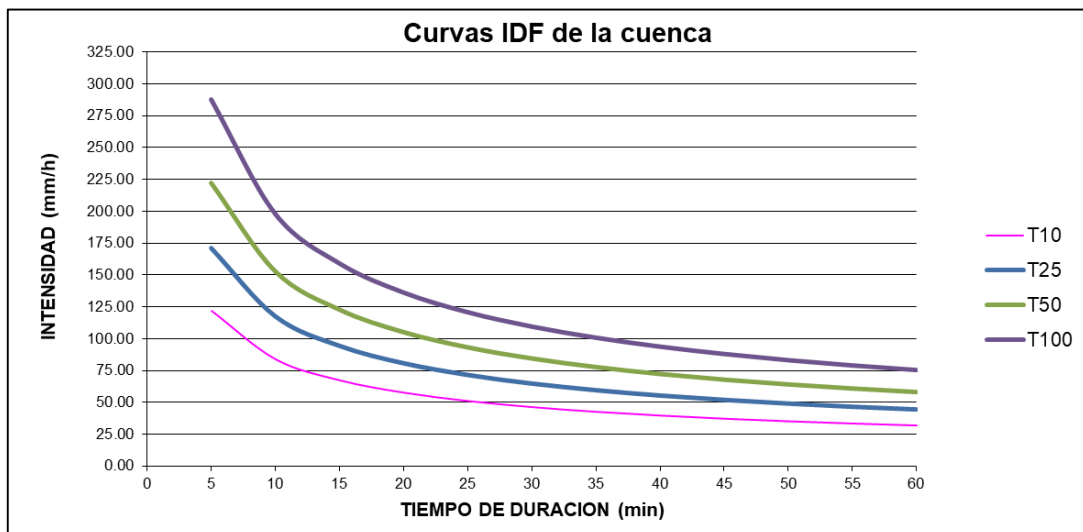


Figura 24: Curvas IDF – Estación Campamento Sede

4.1.3. TORMENTA DE DISEÑO

A continuación, se muestra el hietograma de diseño, para el periodo de retorno de 100 años, mediante la metodología del bloque alterno.

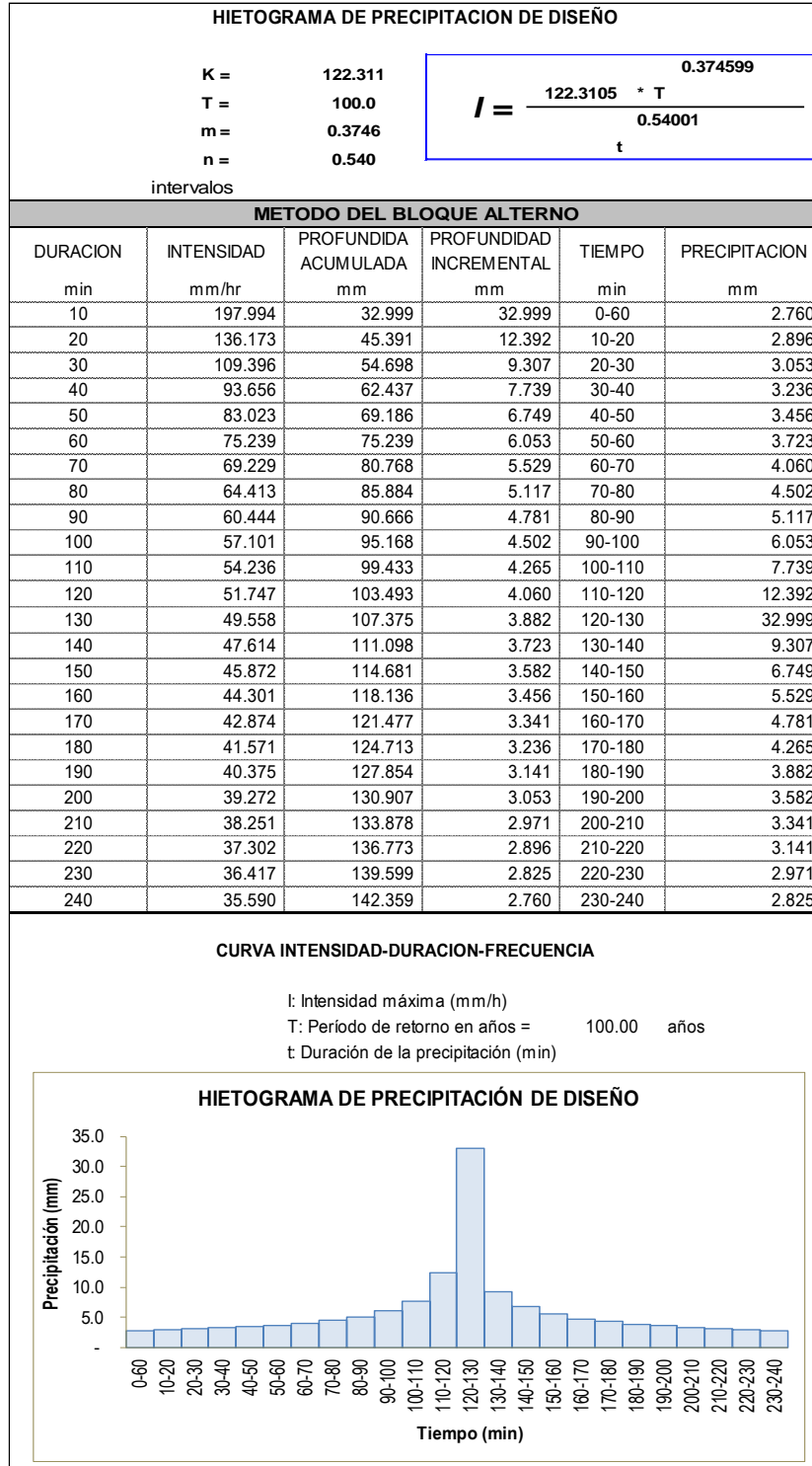


Figura 25: Hietograma de Precipitación para un Tr = 100 años

4.1.4. CAUDALES MÁXIMOS

Para el cálculo de los caudales máximos, se han tomado en cuenta los parámetros básicos de la cuenca delimitada a partir de un punto de control, desde el cual se realizará el transido de avenida con HEC RAS.

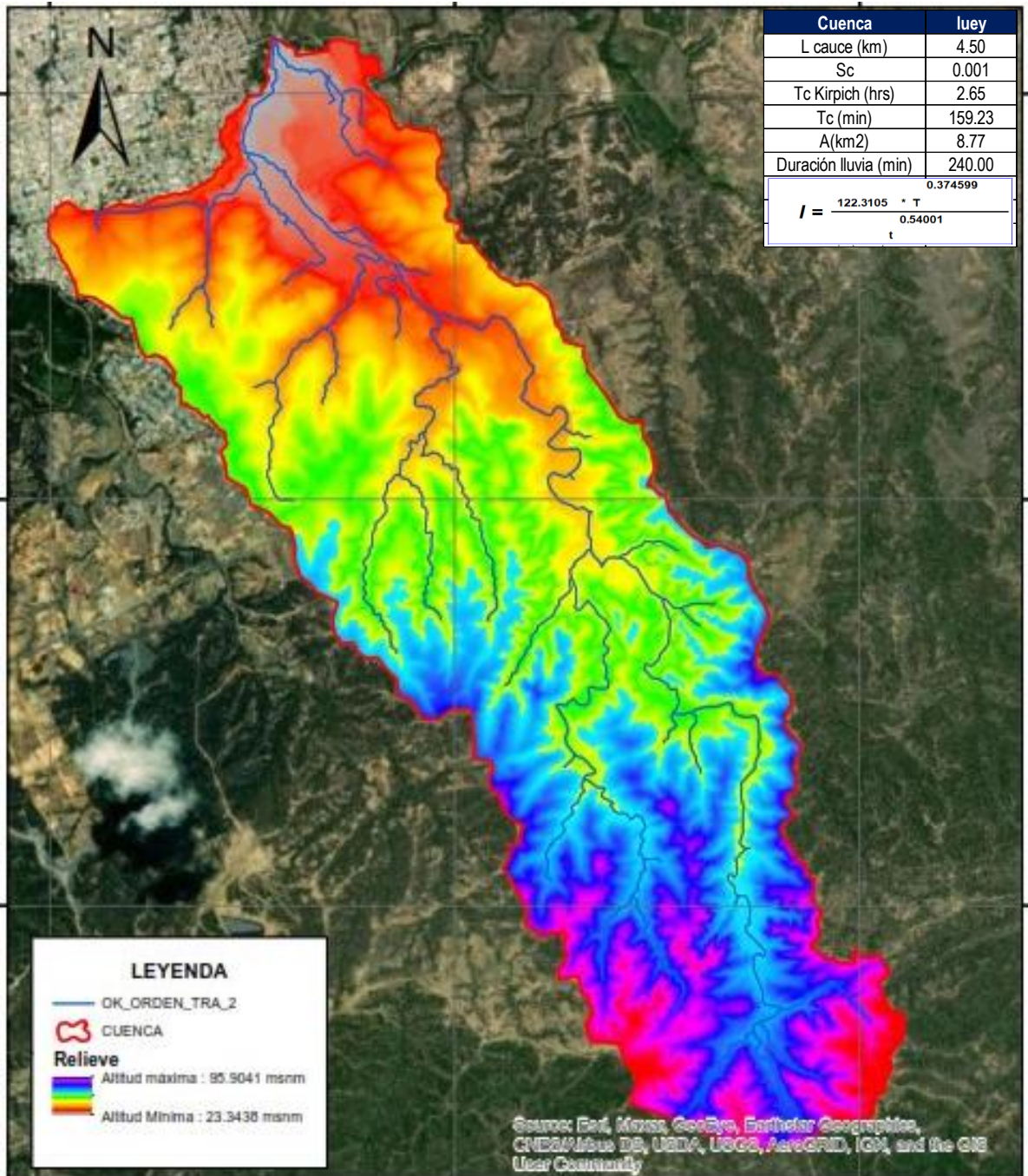


Figura 26: Cuenca Luey desde Punto de Control para el modelamiento

Es así como los resultados para los caudales máximos con los métodos racional, creaguer y el modelo hec hms se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14: Caudales calculados con método Racional, Creaguer y Hec Hms

Periodo retorno	RACIONAL	CREAGUER	HEC HMS
5	7.01	28.65	9.80
25	12.72	57.29	26.70
50	16.43	69.63	40.00
100	21.24	81.97	58.90

Para definir el método a utilizar en el modelo hidráulico, previamente se ha realizado una calibración tomando como referencias las huellas de inundación que dejó el ultimo evento extremo. Ver Figura 9.

a) ESCENARIO Q= 9.8 M³/S, PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS

Se presenta en la Figura 27 la simulación del comportamiento de la escorrentía de un caudal de 9.8 m³/s en que se puede observar que no existe desborde con un tirante de 1.75m mientras que la velocidad de flujo máxima es de 5.50 m/s.

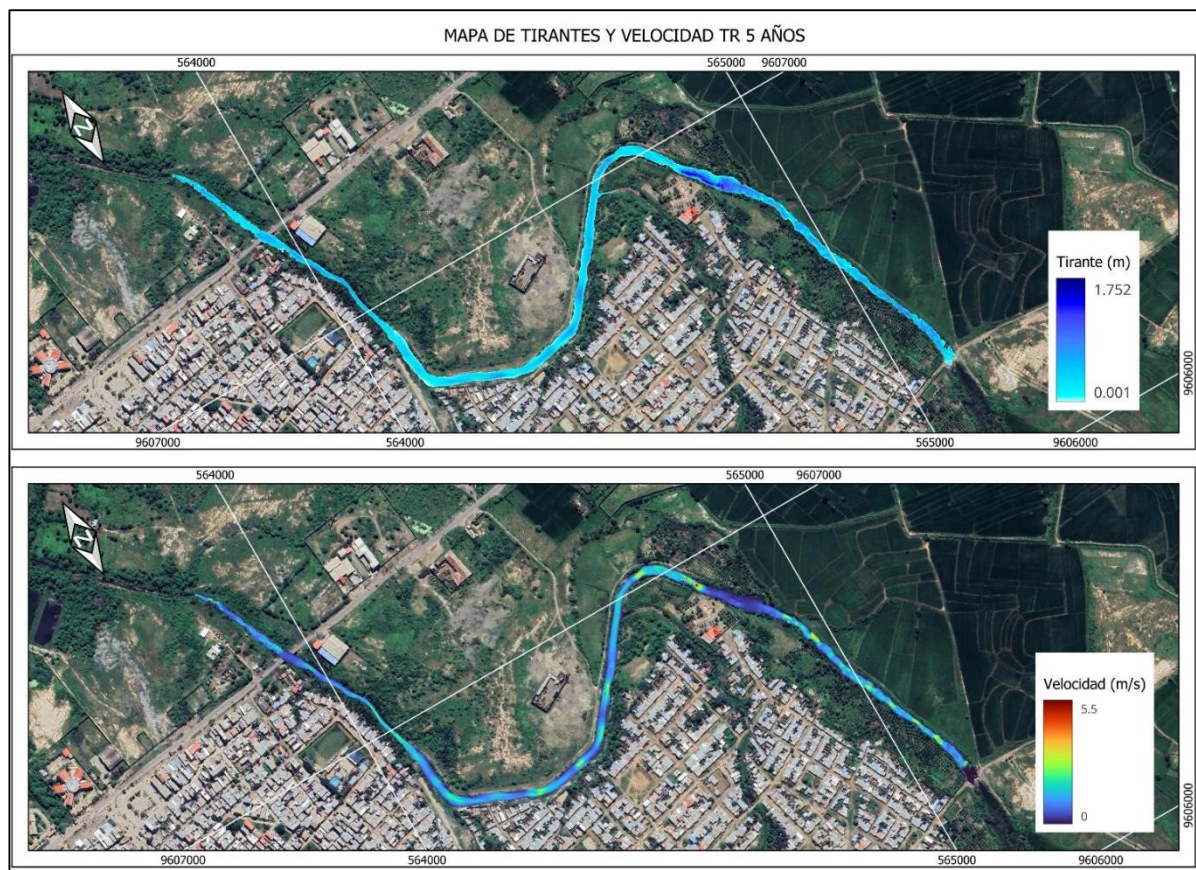


Figura 27: Mapa de tirantes y velocidades para un Caudal de 9.8 m³/s y Tr 5 años

b) ESCENARIO Q= 26.7 M3/S, PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS

En la Figura 28 se observa con celeste el flujo del agua en todo el recorrido de la quebrada, para un caudal de 26.7 m³/s, siendo el tirante máximo de 1.98 m y la velocidad máxima de 6.93 m/s.

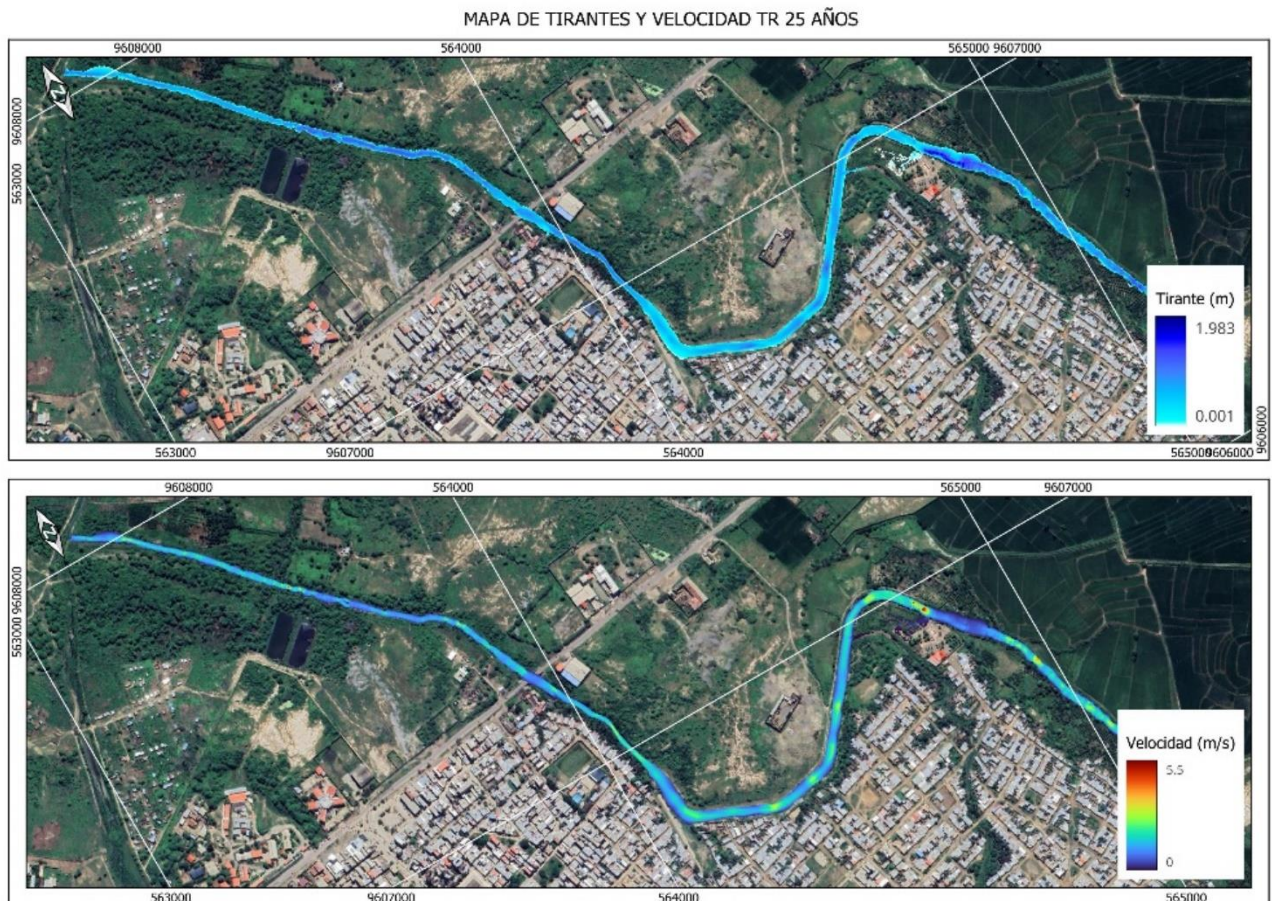


Figura 28: Mapa de tirantes y velocidades para un Caudal de 26.7 m³/s y Tr 25 años

Respecto a las afectaciones, se observa desborde en la margen izquierda colindante a un área urbana donde se ha podido estimar una afectación en 1050 m², entre ellas es la hacienda campestre Lúcumá. También aguas arriba se observa una acumulación de flujo debido al estrechamiento del cauce en el sector antes mencionado teniendo como resultado 2760 m² de áreas agrícolas afectadas.

c) ESCENARIO Q= 40.0 M3/S, PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

La simulación del comportamiento de la escorrentía de un caudal extraordinario de 40.0 m³/s se puede observar en la Figura 29, donde existen zonas afectadas por desborde, teniendo un tirante 2.14m y una velocidad máxima de flujo de 7.50 m/s.

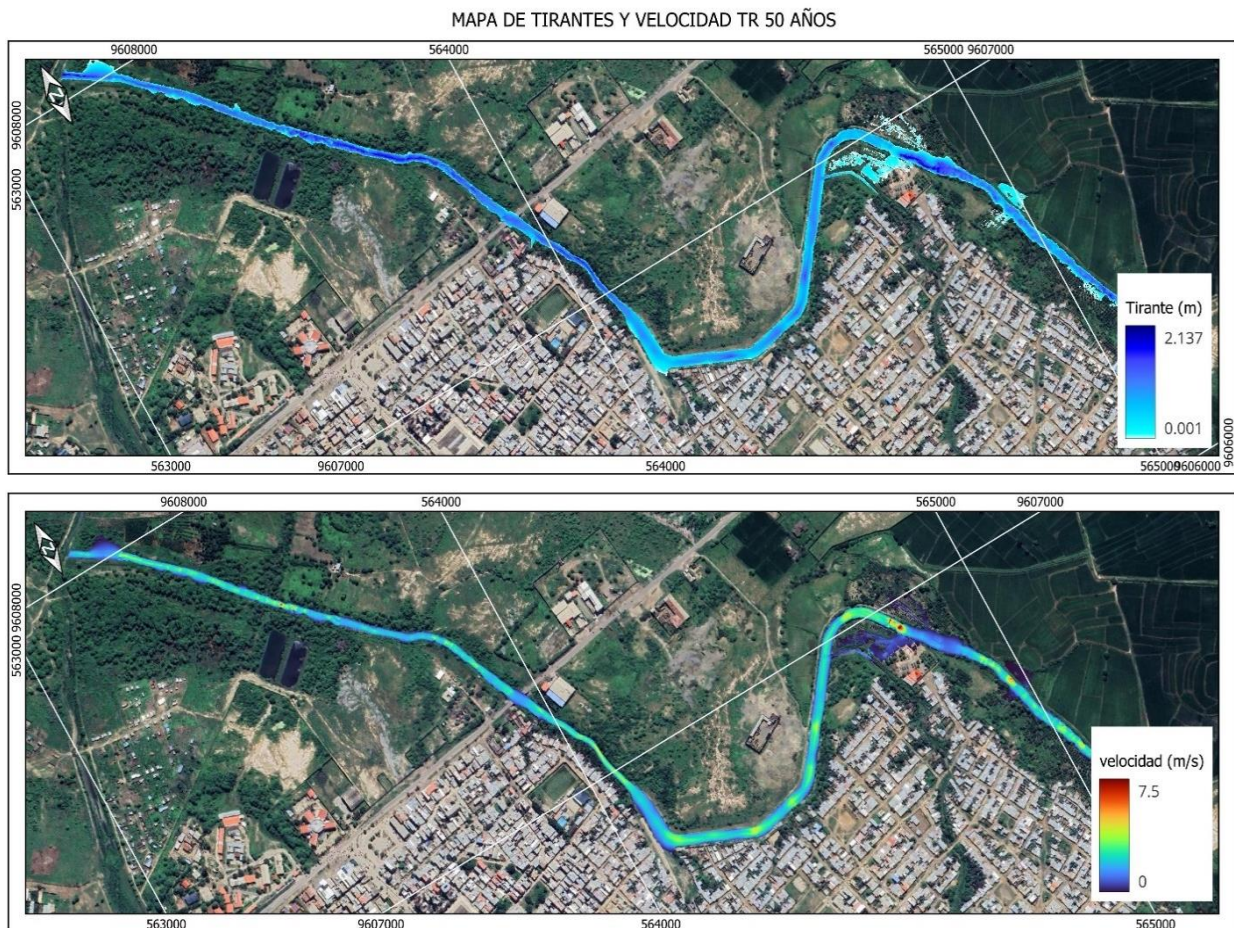


Figura 29: Mapa de tirantes y velocidades para un Caudal de 40.0 m³/s y Tr 50 años

Se observa desborde en el mismo sector, pero con más notoriedad en el sector mencionado debido a la curvatura de la quebrada y el efecto de que produce aguas arriba, además de mostrar inundación en la parte final del tramo analizado, afectando aproximadamente un total 7633.37 m² en la parte urbana y 16669.88 m² en la parte agrícola.

d) ESCENARIO Q= 58.90 M3/S, PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS

Se presenta en la Figura 30 donde la simulación del comportamiento de la escorrentía para un caudal máximo de 58.90 m³/s, se puede observar que existe desborde y afectaciones a viviendas, con un tirante de 2.40m y una velocidad de flujo máxima de 8.20 m/s.

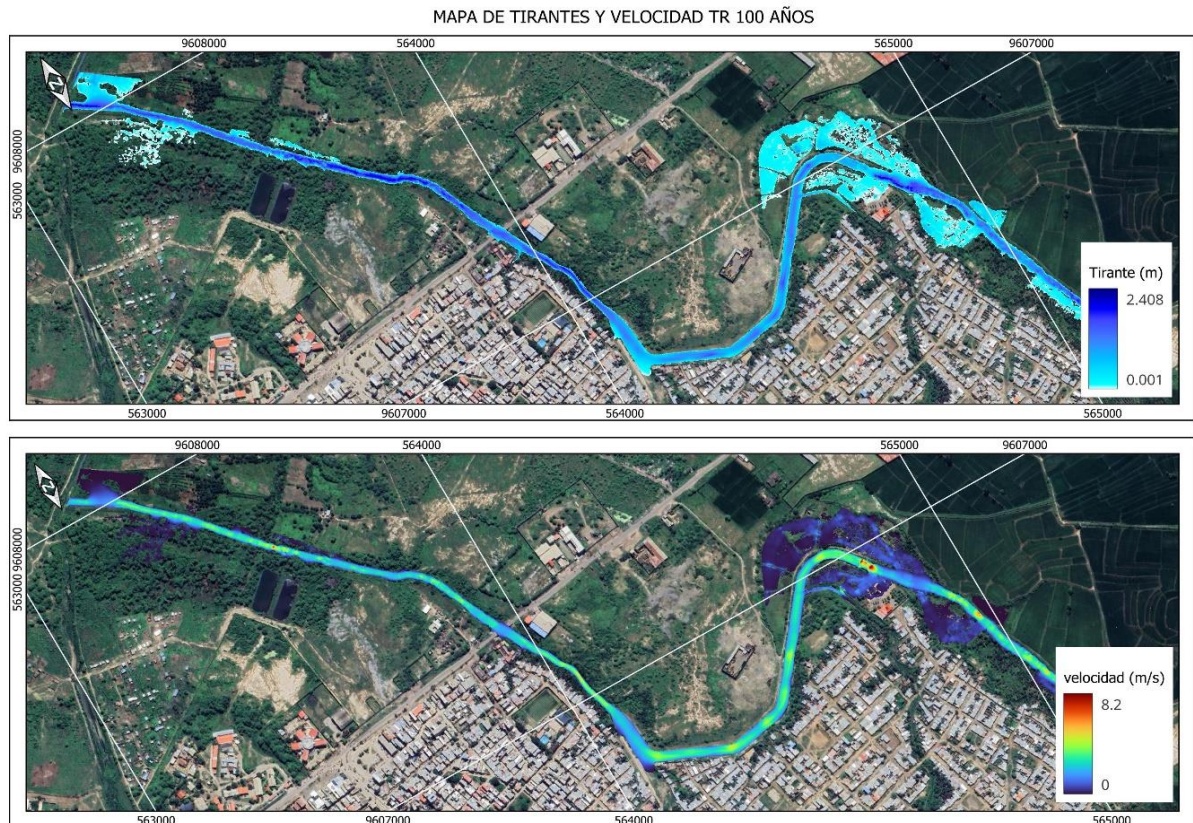


Figura 30: Mapa de tirantes y velocidades para un Caudal de 40.0 m³/s y Tr 100 años

Existe inundación en más zonas aledañas de la quebrada en ambas márgenes, agravando las inundaciones en la parte agrícola con más notoriedad en un estimado de 53399.83 m², por otro lado, en la zona urbana el área afectada aumento en 18306.94 m².

4.1.5. RESUMEN DE AFECTACIONES

TIEMPOS DE RETORNO	ÁREA TOTAL (m ²)	ÁREA URBANA (m ²)	ÁREA AGRÍCOLA (HA)	VIVIENDAS AFECTADAS (APROXIMADAMENTE)
5	-	-	-	-
25	3810.52	1050.32	0.2760	2
50	24303.35	7633.37	1.6670	10
100	71706.77	18306.94	5.3400	24

4.2. DISCUSIONES

La quebrada Luey no tiene registro de caudales máximos, por lo que se obtuvo los caudales de diseño a partir de fórmulas empíricas y modelamiento hidrológico en Hec Hms, siendo el insumo principal los datos de precipitación máxima de 24 horas, de la estación campamento sede y los parámetros morfométricos de la subcuenca en estudio.

Respecto a las características geomorfológicas de la subcuenca de la quebrada Luey, la cual desemboca en la quebrada Pedregal, por lo que se considera un aportante de esta última, tiene un área total de drenaje de 11.748 km² y un perímetro de 22.797 Km, obteniendo un índice de compacidad de 1.876, cuyo valor lo clasifica como oval oblonga a rectangular oblonga (Guevara y Cartaya, 1991) mientras que el factor de forma es de 0.11 el cual (Perez, 1979) indica que sería de forma alargada, y una pendiente promedio de la cuenca de 0.87%.

La altitud media de la subcuenca es de 49 msnm, tiene una longitud de cauce de 8km, con una densidad de drenaje de 3.33, considerándose alta según Junco (2004), mientras que la pendiente del cauce principal de 0.50%.

El tiempo de concentración para toda la subcuenca calculado con kirpich es de 4.06 horas, sin embargo hasta el punto de referencia para el modelamiento hidráulico se obtuvo un $T_c = 2.65$ horas, por lo que el tiempo de retardo ingresado en el software Hec hms para el modelo hidrológico fue de 1.8 horas.

Para estimar correctamente los caudales, se realizó una calibración tomando en consideración una marca de agua en la sección del puente asociado a un evento máximo de precipitación como lo fue el ciclón Yaku 2023, a partir de cual los tirantes que se obtuvieron en el modelamiento hidráulico mostraron un comportamiento similar al registrado.

Los caudales máximos se calcularon para periodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años, mostrando que los caudales de para 50 y 100 años, causan inundación afectando incluso viviendas, sin embargo, en la sección del puente, no existe peligro de desborde, debido a que la topografía de dicho tramo es amplia.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES

- Los parámetros geomorfológicos de la subcuenca de la quebrada Luey correspondientes a parámetros de forma, relieve y drenaje; obtenidos fueron: un área de 117.48 km², un perímetro de 22.80 km, un factor de forma de 0.11, un índice de Gravelius de 1.87, una pendiente del cauce referente al método de Taylor y Shuartz de 0.5% y corresponde a un orden de corriente nivel 4.
- Se determinó mediante la prueba de bondad y ajuste que la frecuencia empírica de las series de Precipitación máxima en 24 horas para la estación Campamento Sede se ajusta de mejor forma a la distribución teórica Log Normal de 2 parámetros.
- Los caudales máximos para periodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años escogidos para el modelo hidráulico fueron de 9.8, 26.7, 40, 58.9 m³/s.
- El modelamiento hidráulico para un caudal de 40 m³/s que corresponde a un TR de 25 años, muestra desbordes en zonas agrícolas y urbanas, con un aproximado de 3810.52, 24303.35 y 71706.77m² de áreas afectadas para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente.
- La altura del tablero inferior del Puente principal ubicado en la carretera Panamericana que cruza la quebrada Luey, no muestra afectaciones por los tirantes máximos que se puedan generar en la quebrada, pues su topografía respecto a la caja hidráulica de la quebrada es amplia y de gran capacidad para contener flujos de avenida.

CAPÍTULO VI

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que este estudio esté disponible públicamente, especialmente para las autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos. Estas entidades deben tomar medidas preventivas para mitigar los posibles riesgos para las comunidades ubicadas en áreas cercanas a la quebrada.
- Realizar un análisis completo de las características del suelo, la cobertura vegetal y los diferentes usos de la tierra es fundamental para comprender la dinámica y el comportamiento hidrológico de una cuenca. Este análisis contribuye especialmente al estudio de la relación entre la lluvia y la escorrentía.
- Se recomienda instalar estaciones hidrométricas en las secciones de Puente Luey y Pedregal, que permitan validar a futuro las estimaciones efectuadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., & Mamani, G. (2019). Modelamiento hidráulico de la quebrada San Antonio de Pedregal para estimar zonas de inundación ante huaycos, Lurigancho Lima 2019. Tesis de pregrado. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Chilito Rincón, E. A. (2018). Definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de simulación hec-ras en un tramo de caño grande, barrio el Rubí–Villavicencio.
- Felices, A. R. (2017). EL MEGANIÑO 1997-98.
- Gomero Armas, D. A. (2020). Modelamiento hidrológico e hidráulico para evaluación de áreas inundables en el Río Pisco, tramo 6+ 500 al 7+ 900.
- Huamán Cangalaya, A. J. (2011). Estudio de efectos del fenómeno de" El Niño" en sistemas de agua y alcantarillado para ciudades del noroeste del Perú.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2017). Evaluación Geológica De Las Zonas Afectadas Por El Niño Costero 2017 En La Región Tumbes.
- Morris, H. (2006); "Modelación hidráulica e hidrológica del río Guápiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados de Guápiles y la Rita". Trabajo de tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica. Costa Rica
- Quito, A & Picon, William, (2022). Evaluación hidrológica e hidráulica del río San Francisco en el cantón Gualaceo
- Senamhi. (2022). NVENTARIO DE DATOS DE EVENTOS DE INUNDACIONES DEL PERÚ.
- Zambrano Valdez, X. M. (2020). Estudio Hidrológico-Hidráulico, de un tramo de la quebrada "El Chorro" en el sector de Ucubamba. (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca. (Castro Salinas, 2015)

ANEXOS

PARAMETROS MORFOMETRICOS CUENCA LUEY

Se ha utilizado el Software ArcGis 10.2 para obtener las áreas parciales entre curvas de nivel. Para finalmente obtener las principales características de la Cuenca Chacco, que a continuación de detalla:

1.- AREA DE LA CUENCA

1.1.- DATOS OBTENIDOS DE LA CUENCA DEL RIO:

A través del programa ArcGis 10.2, obtenemos lo siguiente:

Área total de la cuenca	11.75	Km ²
Perímetro de la cuenca	22.80	Km

1.2.- CUADRO DE AREAS PARCIALES Y ACUMULADAS SEGÚN LA ALTITUD

Con el Software ArcGis 10.2 obtenemos el Areado entre curvas de nivel o cotas, obtenemos las Areas Parciales:

Gráfico N° 01: Areas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica



Fuente: ArcGis 10.2

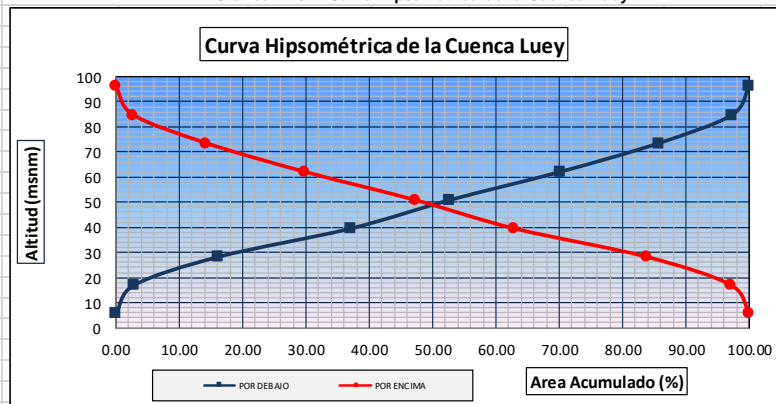
Cuadro N° 01: Areas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km ²	(%)	(KM ²)	(%)	KM ²	(%)
Punto más bajo						
5.47876	0.00	0.00	0.00	0.00	11.75	100.00
16.785753	0.33	2.85	0.33	2.85	11.41	97.15
28.086805	1.57	13.35	1.90	16.19	9.85	83.81
39.388374	2.46	20.94	4.36	37.14	7.39	62.86
50.691677	1.83	15.58	6.19	52.71	5.56	47.29
61.994926	2.06	17.54	8.25	70.26	3.49	29.74
73.297958	1.81	15.42	10.07	85.68	1.68	14.32
84.601593	1.36	11.60	11.43	97.28	0.32	2.72
95.904137	0.32	2.72	11.75	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	11.75	100.00				

2.- FACTOR DE RELIEVE

2.1.- Cálculo de la curva Hipsométrica

Gráfico N° 02: Curva Hipsométrica de la Cuenca Luey



2.2.- Cálculo de la Altitud Mediana

Altitud Mediana = **56.00** msnm (Intersección de las curvas hipsométricas)

2.3.- Cálculo de la Altitud Media Ponderada

Altitud media Ponderada: $H = \frac{\sum a_i c_i}{A}$ $c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2}$

Donde :

- a_i = Area parcial de terreno entre curvas de nivel
- c_i = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.
- A = Area de la cuenca

Cuadro N° 02: Areas parciales entre curvas de nivel

a_i	c_i (altitud media)	$a_i \cdot c_i$
0.33	11.1	3.72
1.57	22.4	35.18
2.46	33.7	83.01
1.83	45.0	82.41
2.06	56.3	116.12
1.81	67.6	122.55
1.36	78.9	107.60
0.32	90.3	28.87
Σ 11.75	Σ	579.46

$H = 49.32$ msnm

2.4.- Cálculo de la Altitud Media Simple:

Altitud Media Simple:

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2}$$

Donde:

- C_M = Cota o altitud más alta de la cuenca
- C_m = Cota o altitud más baja de la cuenca

$C_M = 94.00$
 $C_m = 8.00$

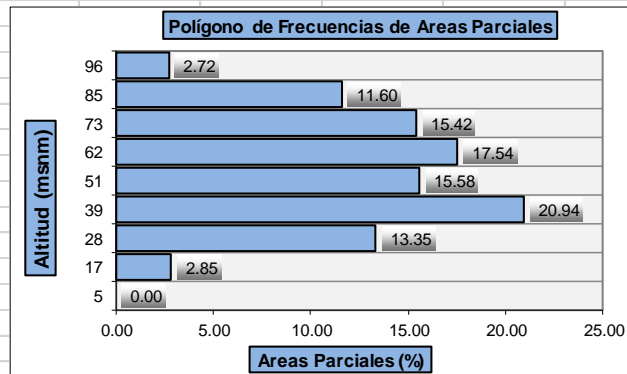
$H_{ms} = 51.00$ msnm

2.5.- Cálculo del Polígono de Frecuencia de Areas Parciales:

COTA (msnm)	A. PARCIAL (%)
5.48	0.00
16.79	2.85
28.09	13.35
39.39	20.94
50.69	15.58
61.99	17.54
73.30	15.42
84.60	11.60
95.90	2.72

Altitud mas Frecuente:
Porcentaje de Incidencia:

Gráfico N° 03: Polígono de Frecuencias



3.- PARAMETROS DE FORMA:

3.1.- Cálculo del Índice de Gravelius (K):

El Índice de Gravelius (K): $K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$

Donde :

- P = Perímetro de la cuenca en Km 22.80 Km
- A = Area de la cuenca en Km² 11.75 Km²

Entonces:

$K = 1.8763$

Como el valor de K se encuentra entre los rangos de 1.00 - 1.25, la forma de la cuenca es RECTANGULAR

3.2.- Cálculo del Rectángulo Equivalente:

Rectángulo Equivalente:

Lado Mayor = $L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$

Lado Menor = $l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$

Donde:

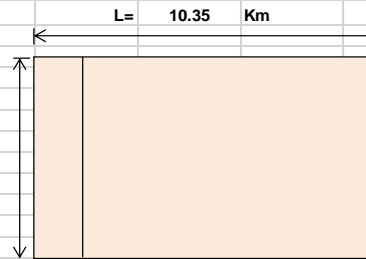
K =	Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelious	1.8763
A =	Area de la cuenca en Km2	11.75

$\frac{K\sqrt{A}}{1.12} = 5.742$ $\left(\frac{1.12}{K} \right)^2 = 0.356$ $\left(\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) = 0.802$

$L = 10.349$
 $l = 1.135$

Cuadro N° 03: Rectangulo Equivalente

Cota (msnm)	Area Parcial ai (Km2)	Ancho, ci (Km)
5.48	0.00	0.00
16.79	0.33	0.29
28.09	1.57	1.38
39.39	2.46	2.17
50.69	1.83	1.61
61.99	2.06	1.82
73.30	1.81	1.60
84.60	1.36	1.20
95.90	0.32	0.28
Suma ci= L=		10.35



3.3.- Cálculo del Factor Forma:

Factor Forma: $F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$

Donde:

l =	Lado menor del rectángulo equivalente	1.14	Km
L =	Lado mayor del rectángulo equivalente	10.35	Km
A =	Area de la cuenca	11.75	Km2

$F_f = 0.1097$
 0.1097

4.- PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO

	Progresiva	Long. (m)	Long Acum (m)	Cota	Desnivel	S	L/(S)^0.5
0	0+000	0.00	0.00	5.50			
1	1+000	1000.00	1000.00	9.00	3.50	0.0035	16903.0851
2	2+000	1000.00	2000.00	14.00	5.00	0.0050	14142.1356
3	3+000	1000.00	3000.00	22.00	8.00	0.0080	11180.3399
4	4+000	1000.00	4000.00	28.00	6.00	0.0060	12909.9445
5	5+000	1000.00	5000.00	32.00	4.00	0.0040	15811.3883
6	6+000	1000.00	6000.00	36.00	4.00	0.0040	15811.3883
7	7+000	1000.00	7000.00	42.00	6.00	0.0060	12909.9445
8	8+000	1000.00	8000.00	47.50	5.50	0.0055	13483.9972
							113152.2234

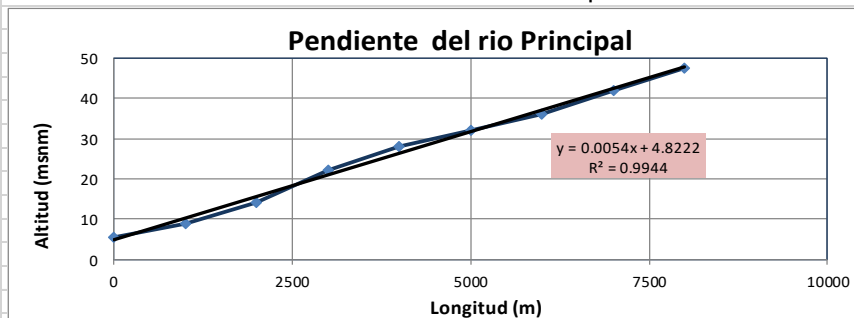
$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$

$S = 0.0050$
 $S = 0.50 \%$

(Según Taylor y Schwarz)

Pendiente del rio (%)= 0.50 %

Grafico N° 04: Pendiente del rio Principal



5.- PARAMETROS RELACIONADOS CON LA RED HIDROGRÁFICA

5.1.- Cálculo de la Densidad de Drenaje:

Densidad de Drenaje:

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

LTR 39.16 CP 8.22

Donde:

L =	Longitud del cauce principal	8.22	Km
	Longitud de cauces aportantes	30.94	Km
Li =	Longitud total de ríos	39.16	
A =	Area de la Cuenca	11.75	Km2

$$D_d = 3.33$$

5.2.- Cálculo de la Frecuencia de los Ríos:

Frecuencia de los Ríos: Fr = Nº cauces/A Nº Cauces = 56
Fr = 4.767

5.3.- Cálculo de la Extensión media del Escurrimiento Superficial (Es):

Extensión media del Escurrimiento Superficial Es = A/4Li
Es = 0.075

5.4.- Cálculo del Tiempo de Concentración (Tc), Según Kirpich

Tiempo de Concentración (Tc)

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$$

Tc (Horas) = 4.060
Tc (Min) = 243.628

6.- OTROS PARAMETROS :

6.1 - Cálculo del Índice de Pendiente (Ip)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Índice de Pendiente (Ip):

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_r}$$

Cuadro N° 04: Cuadro para el calculo de Índice de pendiente

1/(L)^0.5 0.310853

Ai	Bi = Ai/At	ai - ai-1	Bi* (ai - Ai-1)	Raíz (4)	5 * 1/(L)^0.5
1	2	3	4	5	6
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
0.33	0.03	11.31	0.32	0.57	0.18
1.57	0.13	11.30	1.51	1.23	0.38
2.46	0.21	11.30	2.37	1.54	0.48
1.83	0.16	11.30	1.76	1.33	0.41
2.06	0.18	11.30	1.98	1.41	0.44
1.81	0.15	11.30	1.74	1.32	0.41
1.36	0.12	11.30	1.31	1.15	0.36
0.32	0.03	11.30	0.31	0.55	0.17
11.75				Ip =	2.82539

6.2.- Cálculo de la Pendiente de la Cuenca

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

H = 90.43
L = 10,348.78

S = 0.0087
0.874 %

CUADRO PARA EL CÁLCULO DE PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

Nº	RANGO PENDIENTE		PROMEDIO	NÚMERO DE OCURRENCIA	PROMEDIO x OCURRENCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
1	0	3	1.5	63331	94996.5
2	3	7	5.0	73679	368395
3	7	12	9.5	41856	397632
4	12	35	23.5	18266	429251
5	35	50	42.5	6929	294482.5
6	50	75	62.5	1698	106125
7	75	100	87.5	291	25462.5
				206050	1716344.5

Pendiente media de la Cuenca: 8.330 %

ANALISIS DE DATOS DUDOSOS						
Año	Precipitación Histórica máx 24h	Log				
1983	160.4	2.21	373.7	7.0	2.6	0.8
1984	51.8	1.71	373.7	7.0	2.6	0.8
1985	19.9	1.30	373.7	7.0	2.6	0.8
1986	145.8	2.16	373.7	7.0	2.6	0.8
1987	94.3	1.97	373.7	7.0	2.6	0.8
1988	7.5	0.88	373.7	7.0	2.6	0.8
1989	63.5	1.80	373.7	7.0	2.6	0.8
1990	32.6	1.51	373.7	7.0	2.6	0.8
1991	26.1	1.42	373.7	7.0	2.6	0.8
1992	159.2	2.20	373.7	7.0	2.6	0.8
1993	44	1.64	373.7	7.0	2.6	0.8
1994	54.9	1.74	373.7	7.0	2.6	0.8
1995	54.8	1.74	373.7	7.0	2.6	0.8
1996	17.5	1.24	373.7	7.0	2.6	0.8
1997	121.2	2.08	373.7	7.0	2.6	0.8
1998	230	2.36	373.7	7.0	2.6	0.8
1999	155.7	2.19	373.7	7.0	2.6	0.8
2000	25.8	1.41	373.7	7.0	2.6	0.8
2001	35.5	1.55	373.7	7.0	2.6	0.8
2002	79.1	1.90	373.7	7.0	2.6	0.8
2003	51.3	1.71	373.7	7.0	2.6	0.8
2004	50	1.70	373.7	7.0	2.6	0.8
2005	15.5	1.19	373.7	7.0	2.6	0.8
2006	88.5	1.95	373.7	7.0	2.6	0.8
2007	47	1.67	373.7	7.0	2.6	0.8
2008	71.3	1.85	373.7	7.0	2.6	0.8
2009	67	1.83	373.7	7.0	2.6	0.8
2010	72.3	1.86	373.7	7.0	2.6	0.8
2011	20	1.30	373.7	7.0	2.6	0.8
2012	48.5	1.69	373.7	7.0	2.6	0.8
2013	30.9	1.49	373.7	7.0	2.6	0.8
2014	29.9	1.48	373.7	7.0	2.6	0.8
2015	78.6	1.90	373.7	7.0	2.6	0.8
2016	90.7	1.96	373.7	7.0	2.6	0.8
2017	103.4	2.01	373.7	7.0	2.6	0.8
2018	16.9	1.23	373.7	7.0	2.6	0.8
2019	44	1.64	373.7	7.0	2.6	0.8
2020	49.3	1.69	373.7	7.0	2.6	0.8
2021	43.6	1.64	373.7	7.0	2.6	0.8
2022	36.3	1.56	373.7	7.0	2.6	0.8
Precipitación media		65.87				
Precipitación máx		230.00				
Precipitación mínima		7.50				
Desviación estándar de la muestra		48.74				
Media de logaritmos de registros		1.71				
Desviación estándar de logaritmos de registros		0.32				
Coefficiente al nivel de significación de 5% (Kn)		2.68				
Logaritmo del límite superior		2.57				
Logaritmo de límite inferior		0.85				
Numero de datos		40.00				
Límite superior		373.70	Ok			
Límite inferior		7.013	Ok			

Coefficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Fuente: Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito



Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.79	0.90	1.00

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	57.8447	107.9376	149.6007	211.8524	265.2223	324.6038	488.6233
18 hr	X18 = 91%	52.0602	97.1438	134.6406	167.3634	238.7001	292.1434	439.7610
12 hr	X12 = 80%	45.6973	85.2707	118.1846	167.3634	209.5256	256.4370	386.0124
8 hr	X8 = 68%	37.0206	69.0801	95.7444	135.5855	169.7423	207.7464	312.7189
6 hr	X6 = 61%	32.3930	60.4451	83.7764	118.6373	148.5245	181.7781	273.6290
5 hr	X5 = 57%	28.9224	53.9688	74.8004	105.9262	132.6112	162.3019	244.3117
4 hr	X4 = 52%	25.4517	47.4925	65.8243	93.2151	116.6978	142.8257	214.9943
3 hr	X3 = 46%	21.9810	41.0163	56.8483	80.5039	100.7845	123.3494	185.6769
2 hr	X2 = 39%	17.9319	33.4607	46.3762	65.6742	82.2189	100.6272	151.4732
1 hr	X1 = 30%	14.4612	26.9844	37.4002	52.9631	66.3056	81.1510	122.1558

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma

$$I = \frac{P \text{ [mm]}}{t_{\text{duración}} \text{ [hr.]}}$$

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	2.4102	4.4974	6.2334	8.8272	11.0509	13.5252	20.3593
18 hr	1080	2.8922	5.3969	7.4800	9.2980	13.2611	16.2302	24.4312
12 hr	720	3.8081	7.1059	9.8487	13.9469	17.4605	21.3698	32.1677
8 hr	480	4.6276	8.6350	11.9681	16.9482	21.2178	25.9683	39.0899
6 hr	360	5.3988	10.0742	13.9627	19.7729	24.7541	30.2964	45.6048
5 hr	300	5.7845	10.7938	14.9601	21.1852	26.5222	32.4604	48.8623
4 hr	240	6.3629	11.8731	16.4561	23.3038	29.1745	35.7064	53.7486
3 hr	180	7.3270	13.6721	18.9494	26.8346	33.5948	41.1165	61.8923
2 hr	120	8.9659	16.7303	23.1881	32.8371	41.1095	50.3136	75.7366
1 hr	60	14.4612	26.9844	37.4002	52.9631	66.3056	81.1510	122.1558

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

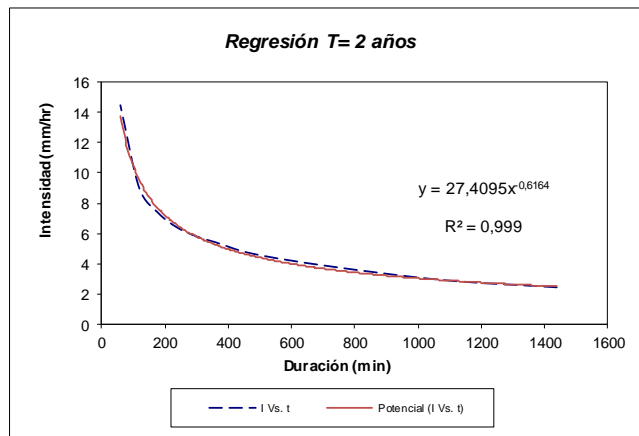
Donde:

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)
- K, m, n = Parámetros de ajuste

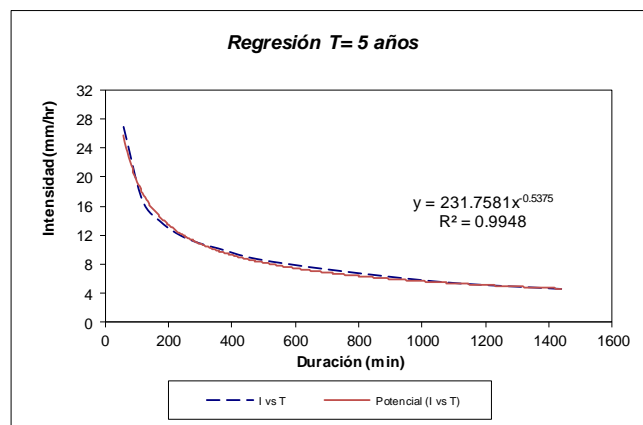
Realizando un cambio de variable: $d = K \cdot T^m$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene: $I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$

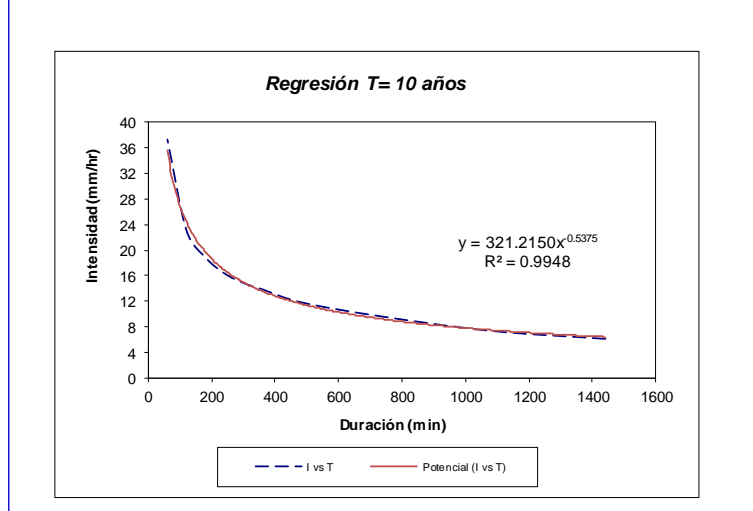
Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	2.4102	7.2724	0.8797	6.3976	52.8878
2	1080	2.8922	6.9847	1.0620	7.4180	48.7863
3	720	3.8081	6.5793	1.3371	8.7973	43.2865
4	480	4.6276	6.1738	1.5320	9.4584	38.1156
5	360	5.3988	5.8861	1.6862	9.9251	34.6462
6	300	5.7845	5.7038	1.7552	10.0111	32.5331
7	240	6.3629	5.4806	1.8505	10.1419	30.0374
8	180	7.3270	5.1930	1.9916	10.3421	26.9668
9	120	8.9659	4.7875	2.1934	10.5010	22.9201
10	60	14.4612	4.0943	2.6715	10.9379	16.7637
10	4980	62.0384	58.1555	16.9592	93.9304	346.9435
Ln (d) =	4.8219		d =	124.2012	n =	-0.5375



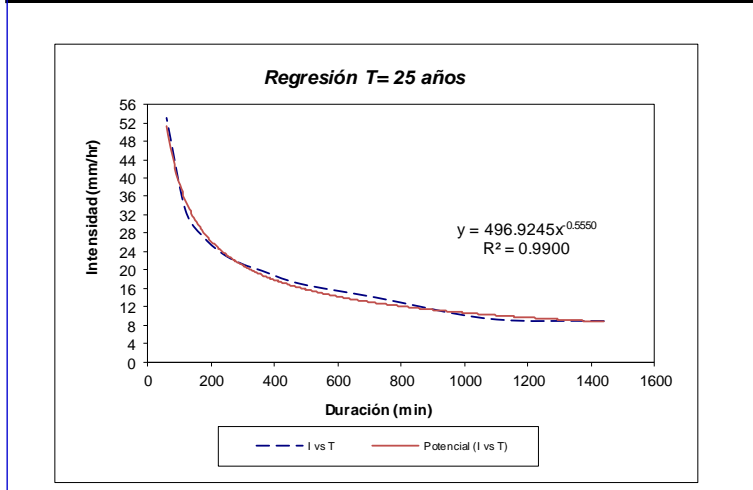
Periodo de retorno para T = 5 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4.4974	7.2724	1.5035	10.9340	52.8878
2	1080	5.3969	6.9847	1.6858	11.7750	48.7863
3	720	7.1059	6.5793	1.9609	12.9014	43.2865
4	480	8.6350	6.1738	2.1558	13.3096	38.1156
5	360	10.0742	5.8861	2.3100	13.5968	34.6462
6	300	10.7938	5.7038	2.3790	13.5691	32.5331
7	240	11.8731	5.4806	2.4743	13.5606	30.0374
8	180	13.6721	5.1930	2.6154	13.5814	26.9668
9	120	16.7303	4.7875	2.8172	13.4874	22.9201
10	60	26.9844	4.0943	3.2953	13.4919	16.7637
10	4980	115.7631	58.1555	23.1971	130.2073	346.9435
Ln (d) =	5.4457		d =	231.7581	n =	-0.5375



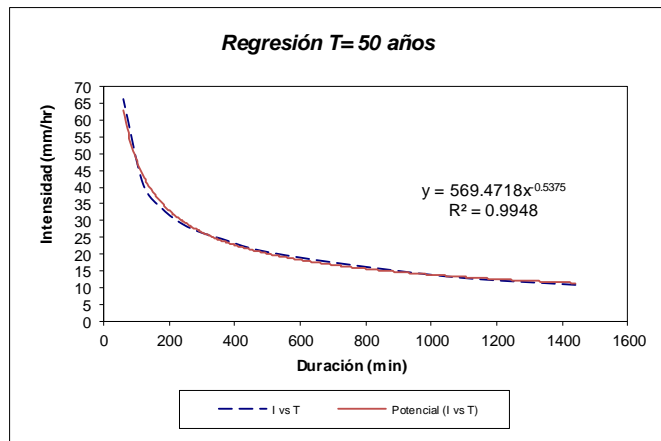
Periodo de retorno para T = 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.2334	7.2724	1.8299	13.3079	52.8878
2	1080	7.4800	6.9847	2.0122	14.0549	48.7863
3	720	9.8487	6.5793	2.2873	15.0490	43.2865
4	480	11.9681	6.1738	2.4822	15.3248	38.1156
5	360	13.9627	5.8861	2.6364	15.5181	34.6462
6	300	14.9601	5.7038	2.7054	15.4309	32.5331
7	240	16.4561	5.4806	2.8007	15.3496	30.0374
8	180	18.9494	5.1930	2.9418	15.2765	26.9668
9	120	23.1881	4.7875	3.1436	15.0501	22.9201
10	60	37.4002	4.0943	3.6217	14.8284	16.7637
10	4980	160.4468	58.1555	26.4613	149.1902	346.9435
Ln (d) =	5.7721	d =	321.2150	n =	-0.5375	



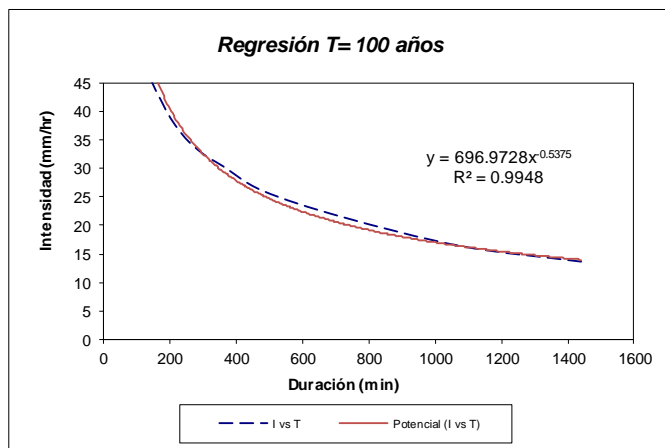
Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	8.8272	7.2724	2.1778	15.8381	52.8878
2	1080	9.2980	6.9847	2.2298	15.5745	48.7863
3	720	13.9469	6.5793	2.6353	17.3380	43.2865
4	480	16.9482	6.1738	2.8302	17.4728	38.1156
5	360	19.7729	5.8861	2.9843	17.5660	34.6462
6	300	21.1852	5.7038	3.0533	17.4154	32.5331
7	240	23.3038	5.4806	3.1486	17.2564	30.0374
8	180	26.8346	5.1930	3.2897	17.0832	26.9668
9	120	32.8371	4.7875	3.4916	16.7158	22.9201
10	60	52.9631	4.0943	3.9696	16.2529	16.7637
10	4980	225.9170	58.1555	29.8101	168.5132	346.9435
Ln (d) =	6.2084	d =	496.9245	n =	-0.5550	



Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	11.0509	7.2724	2.4025	17.4720	52.8878
2	1080	13.2611	6.9847	2.5848	18.0543	48.7863
3	720	17.4605	6.5793	2.8599	18.8163	43.2865
4	480	21.2178	6.1738	3.0548	18.8599	38.1156
5	360	24.7541	5.8861	3.2090	18.8885	34.6462
6	300	26.5222	5.7038	3.2780	18.6969	32.5331
7	240	29.1745	5.4806	3.3733	18.4878	30.0374
8	180	33.5948	5.1930	3.5144	18.2500	26.9668
9	120	41.1095	4.7875	3.7162	17.7915	22.9201
10	60	66.3056	4.0943	4.1943	17.1728	16.7637
10	4980	284.4509	58.1555	32.1873	182.4900	346.9435
Ln (d) =	6.3447	d =	569.4718	n =	-0.5375	



Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13.5252	7.2724	2.6046	18.9413	52.8878
2	1080	16.2302	6.9847	2.7869	19.4655	48.7863
3	720	21.3698	6.5793	3.0620	20.1455	43.2865
4	480	25.9683	6.1738	3.2569	20.1073	38.1156
5	360	30.2964	5.8861	3.4110	20.0777	34.6462
6	300	32.4604	5.7038	3.4800	19.8493	32.5331
7	240	35.7064	5.4806	3.5753	19.5951	30.0374
8	180	41.1165	5.1930	3.7164	19.2992	26.9668
9	120	50.3136	4.7875	3.9183	18.7587	22.9201
10	60	81.1510	4.0943	4.3963	18.0000	16.7637
10	4980	348.1376	58.1555	34.2077	194.2395	346.9435
Ln (d) =	6.5467	d =	696.9728	n =	-0.5375	



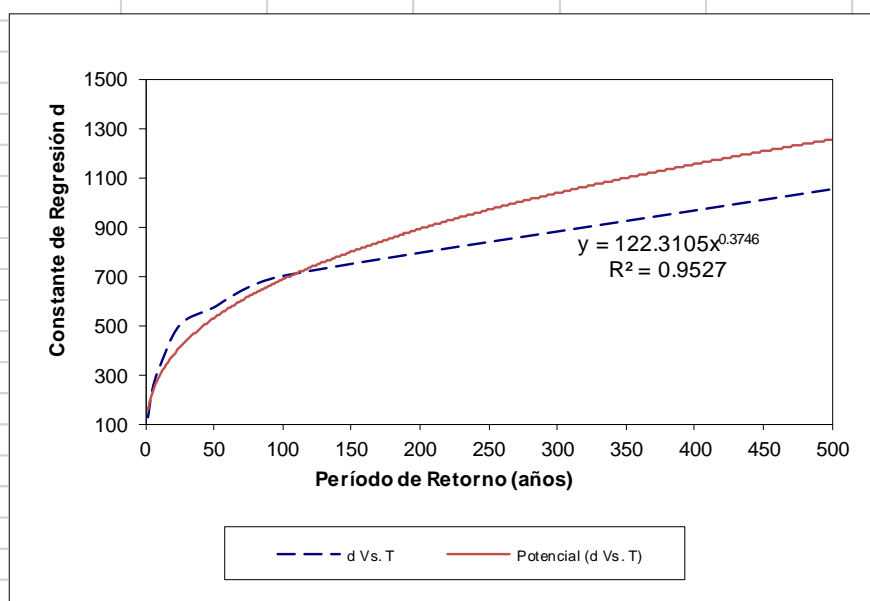
Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	124.20119520153	-0.53752143702
5	231.75812005568	-0.53752143702
10	321.21500747668	-0.53752143702
25	496.92449453309	-0.55496493933
50	569.47182117118	-0.53752143702
100	696.97275510047	-0.53752143702
500	1049.14707593462	-0.53752143702
Promedio =	498.52720992475	-0.54001336592

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^m$$

Regresión potencial								
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2		
1	2	124.2012	0.6931	4.8219	3.3423	0.4805		
2	5	231.7581	1.6094	5.4457	8.7645	2.5903		
3	10	321.2150	2.3026	5.7721	13.2908	5.3019		
4	25	496.9245	3.2189	6.2084	19.9842	10.3612		
5	50	569.4718	3.9120	6.3447	24.8206	15.3039		
6	100	696.9728	4.6052	6.5467	30.1489	21.2076		
7	500	1049.1471	6.2146	6.9557	43.2272	38.6214		
7	692	3489.6905	22.5558	42.0953	143.5784	93.8667		
Ln (K) =		4.8066	K =		122.3105	m =		0.3746

Termino constante de regresión (K) = 122.3105
 Coef. de regresión (m) = 0.374599



La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{122.3105 \cdot T^{0.374599}}{0.54001 \cdot t}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

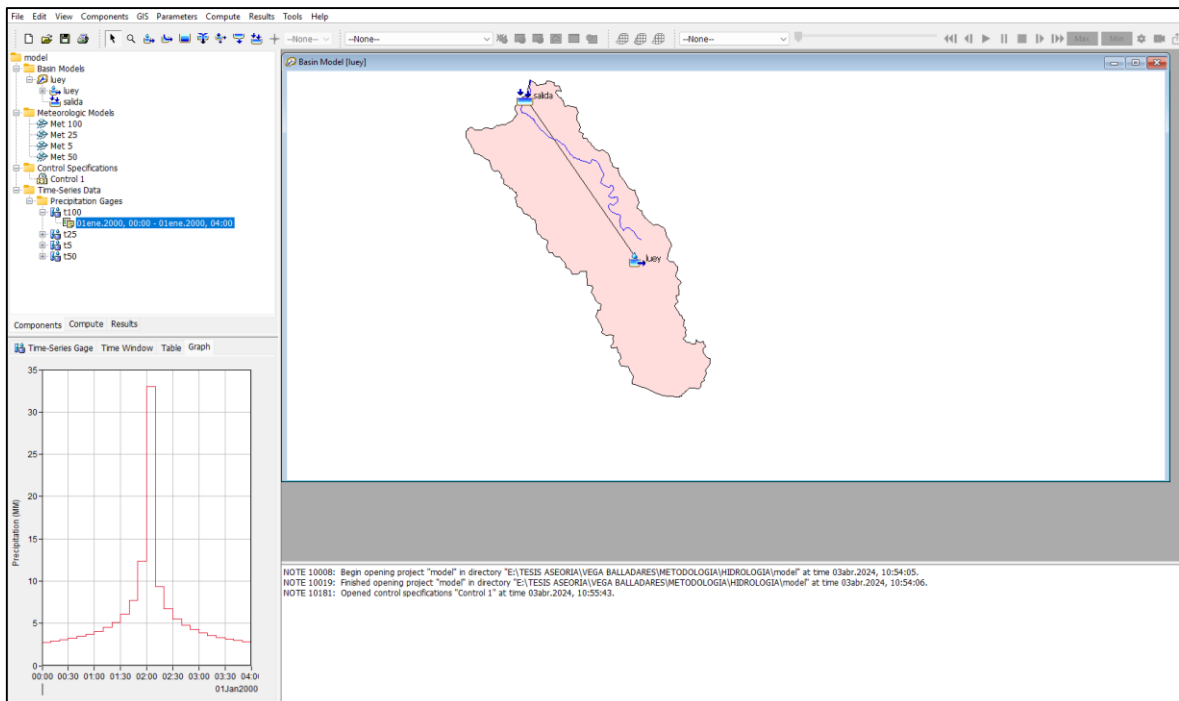
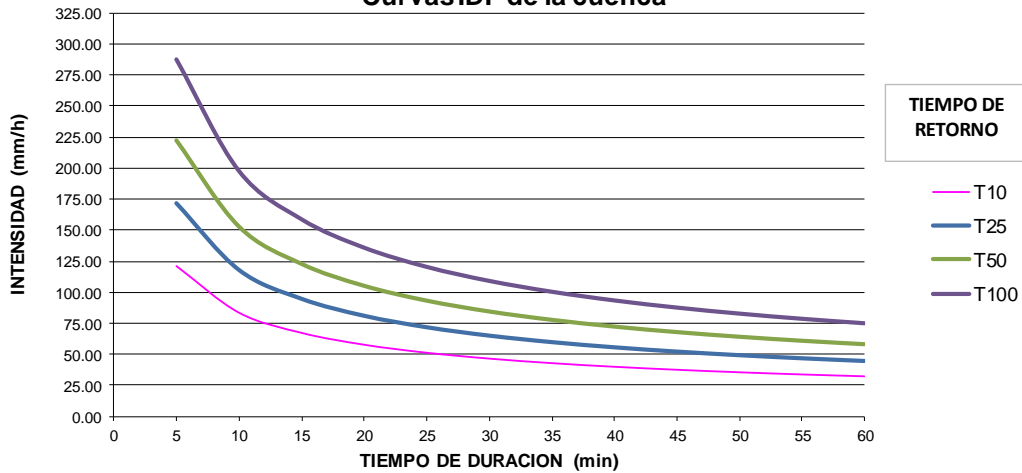
T = Período de Retorno (años)

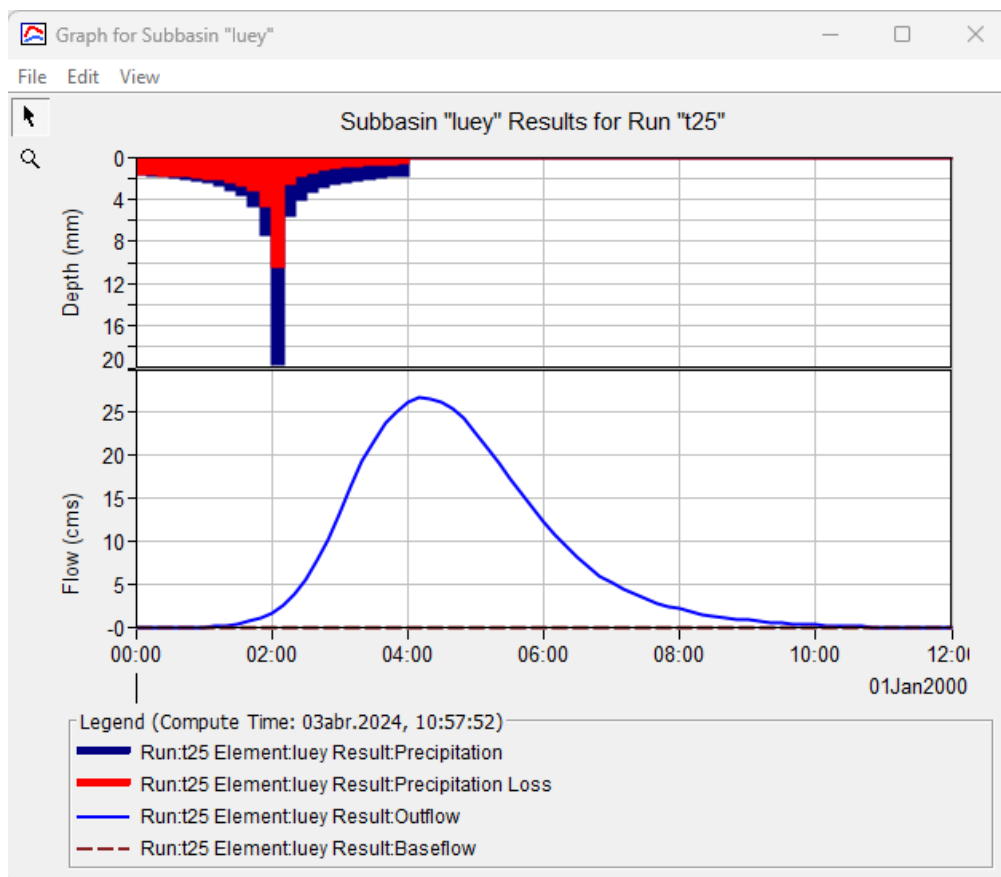
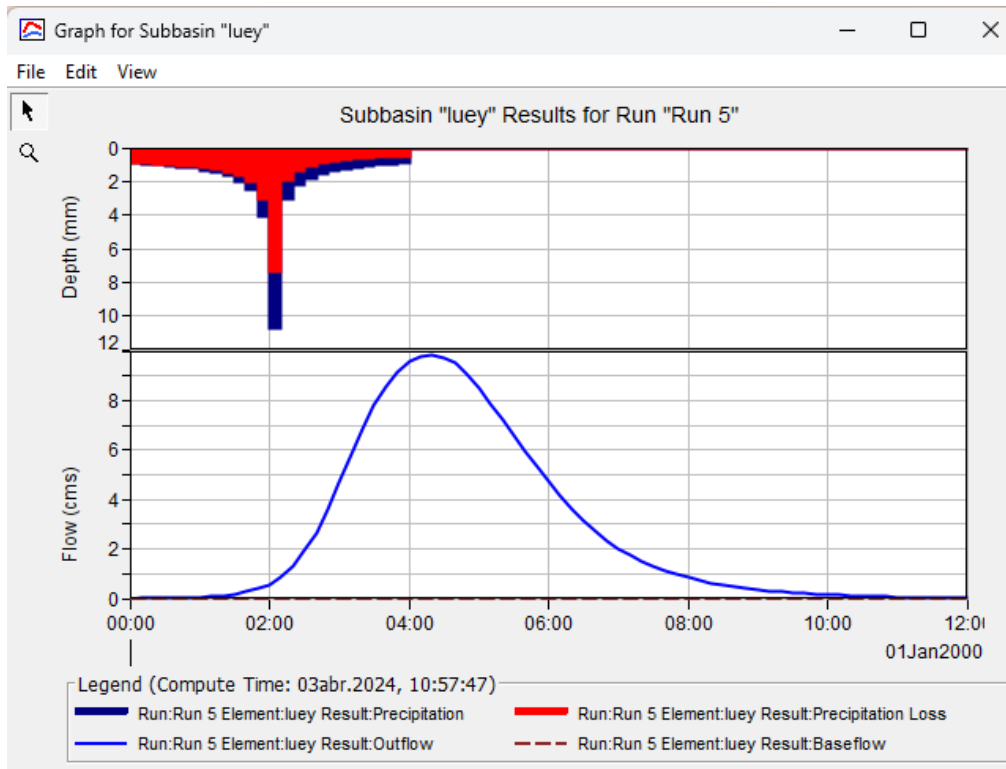
t = Tiempo de duración de precipitación (min)

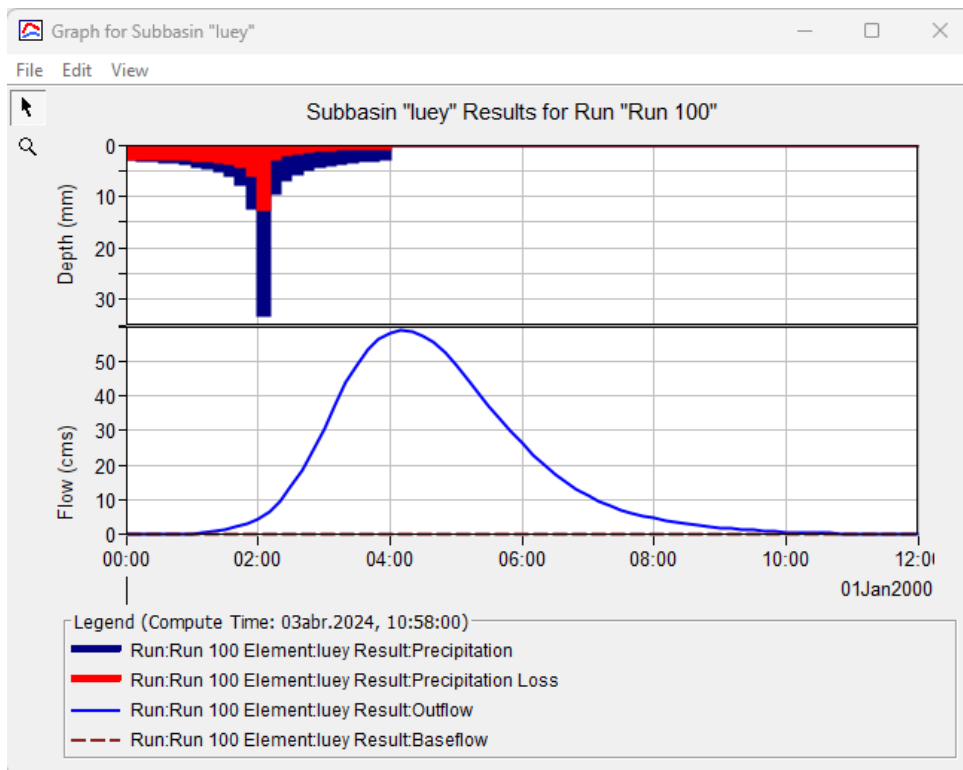
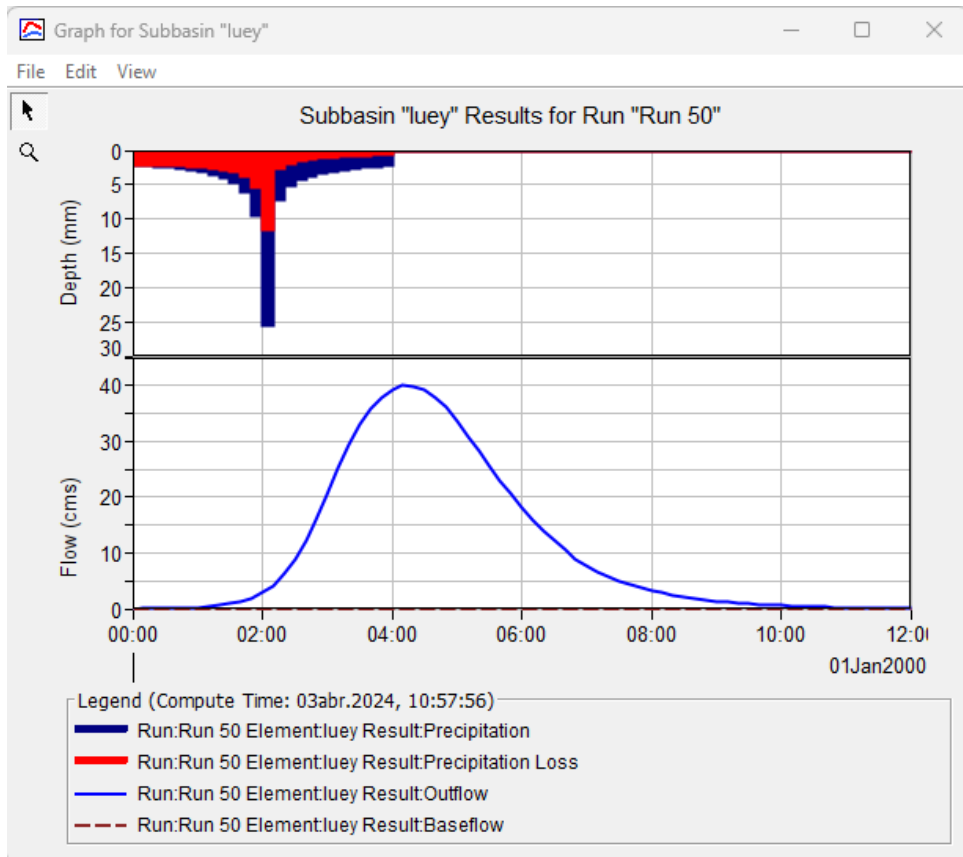
Tabla de intensidades - Tiempo de duración

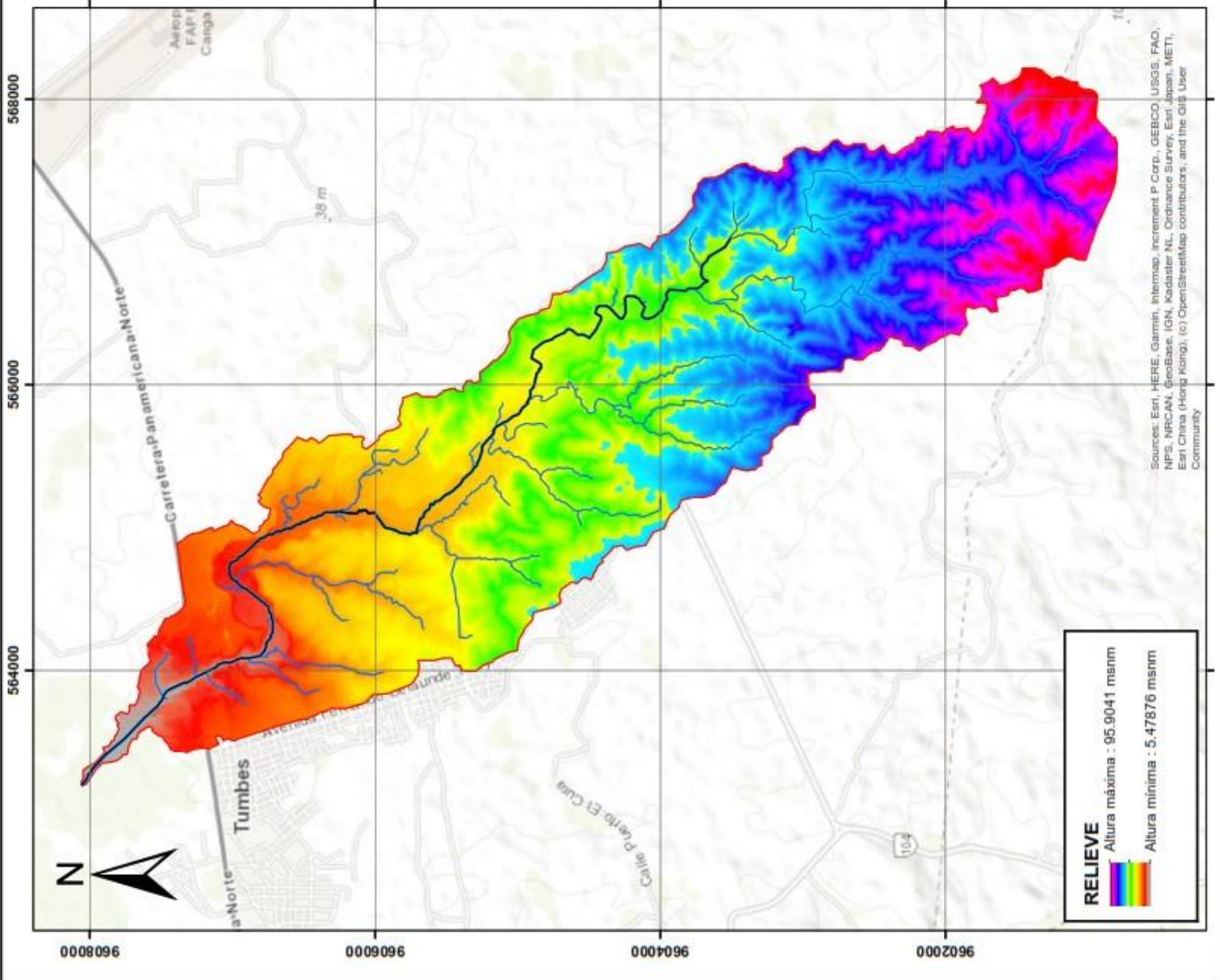
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
10	121.51	83.57	67.14	57.48	50.95	46.17	42.49	39.53	37.09	35.04	33.28	31.76
25	171.27	117.79	94.63	81.01	71.82	65.08	59.88	55.72	52.28	49.39	46.91	44.76
50	222.05	152.72	122.68	105.03	93.11	84.38	77.64	72.24	67.79	64.04	60.82	58.03
100	287.88	197.99	159.06	136.17	120.71	109.39	100.66	93.65	87.88	83.02	78.86	75.24

Curvas IDF de la cuenca









PARÁMETROS FISIográfICOS DE LA CUENCA LUEY

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	Cuenca Hidrográfica
Área total de la cuenca	km ²	11.75
Perímetro de la cuenca	km	22.80
Longitud de río principal	km	8
Cotas máxima	m	94.0
Cotas mínima	m	8.0
Centroides Este X	m	565792.5
Centroides Norte Y	m	960344.0
Coefficiente de compactad	-	0.80
Factor de forma	-	0.11
Rectángulo equivalente (L x l)	km	10.4
	km	1.14
Pendiente media de la cuenca	%	8.3
Altitud media	m.s.n.m	51.0

RELIEVE

RED HIDROGRÁFICA

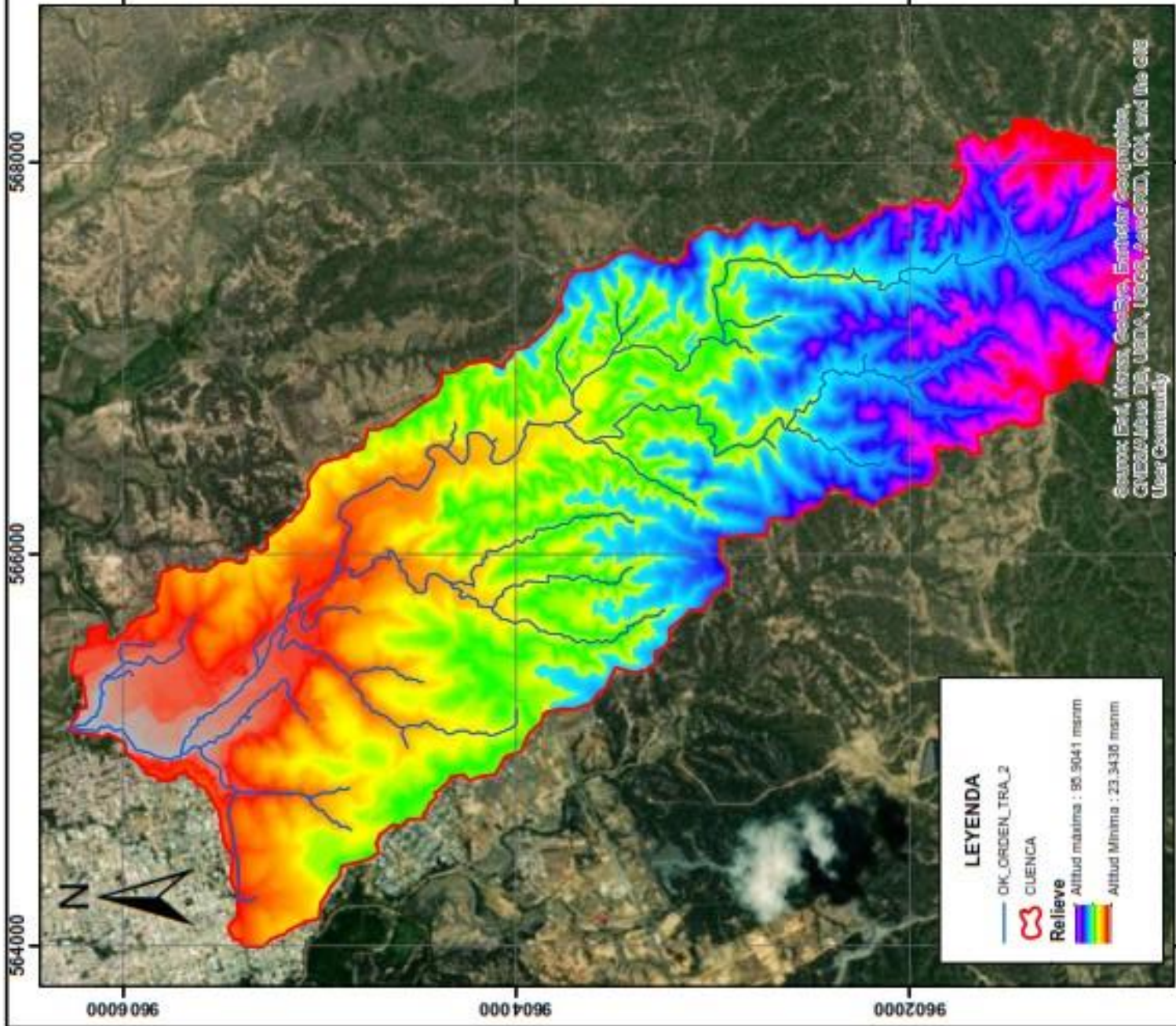
Tipo de corriente	Porcentaje
Orden 1	Km 19.5
Orden 2	Km 11.4
Orden 3	Km 4.2
Orden 4	Km 4
Nº Total de ríos	- 4
Grado de ramificación	- 4
Densidad de drenaje	Km ² Km ² 3.33
Longitud del cauce principal	Km 8.2
Cotas del cauce	msnm 47.5
Altitud máxima	msnm 5.5
Pendiente media del cauce principal (Sm)	% 0.5
Tiempo de concentración	horas 2.49



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA LUEY

MARCO DE REFERENCIA:	ZONA: 17 S	DATUM: WGS 84
ESCALA: 1 : 30 000	FECHA: ABRIL 2024	LÁMINA: A3
RESPONSABLE: Bach. GUSTAVO VEGA BALLADARES		



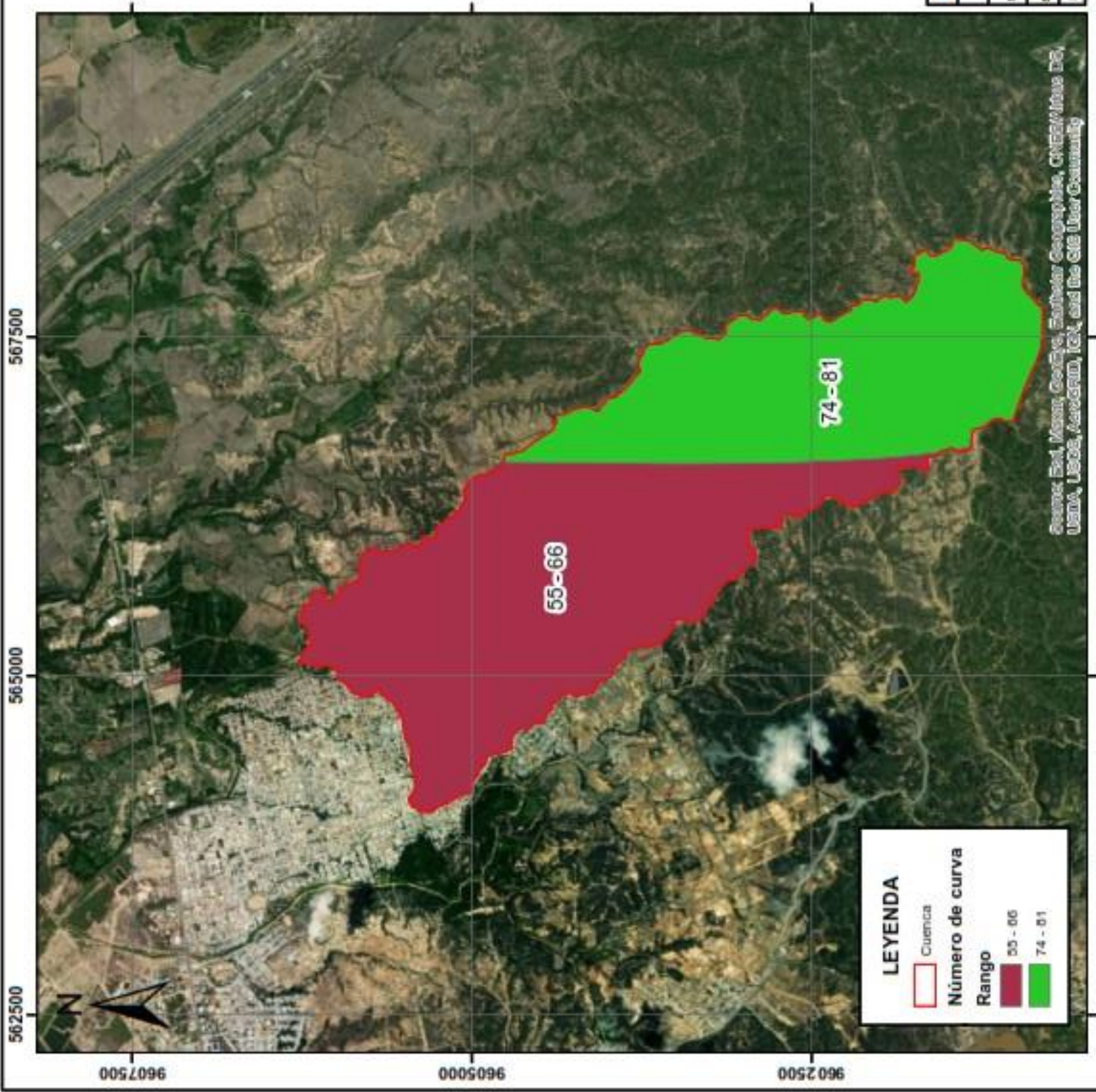
Cuenca	luey
L cauce (km)	4.50
Sc	0.001
Tc Kirpich (hrs)	2.65
Tc (min)	159.23
A(km2)	8.77
Duración lluvia (min)	240.00
$I = \frac{122.3105 \cdot T}{t} = 0.374599$ $I = 0.54001$	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

CUENCA LUEY - TRAMO 2

MARCO DE REFERENCIA:	ZONA: 17 S	DATUM: WGS 84
ESCALA: 1 : 30 000	FECHA: ABRIL 2024	LÁMINA: A3
RESPONSABLE:	Bach. GUSTAVO VEGA BALLADARES	





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

MAPA DE NÚMERO DE CURVA EN LA CUENCA LUEY

MARCO DE REFERENCIA:	ZONA: 17 S	DATUM: WGS 84
ESCALA: 1 : 25 000	FECHA: ABRIL 2024	LAMINA: A3

RESPONSABLE: Bsc. GUSTAVO VEGA BALLADARES



Viviendas cercanas al cauce



Cauce colmatado de maleza



Cauce contaminado por residuos sólidos



Tramo para el modelamiento hidráulico

MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDAD TR 5 AÑOS

564000

565000

9607000



9607000

564000

565000

9606000

9606000

564000

565000

9607000



9607000

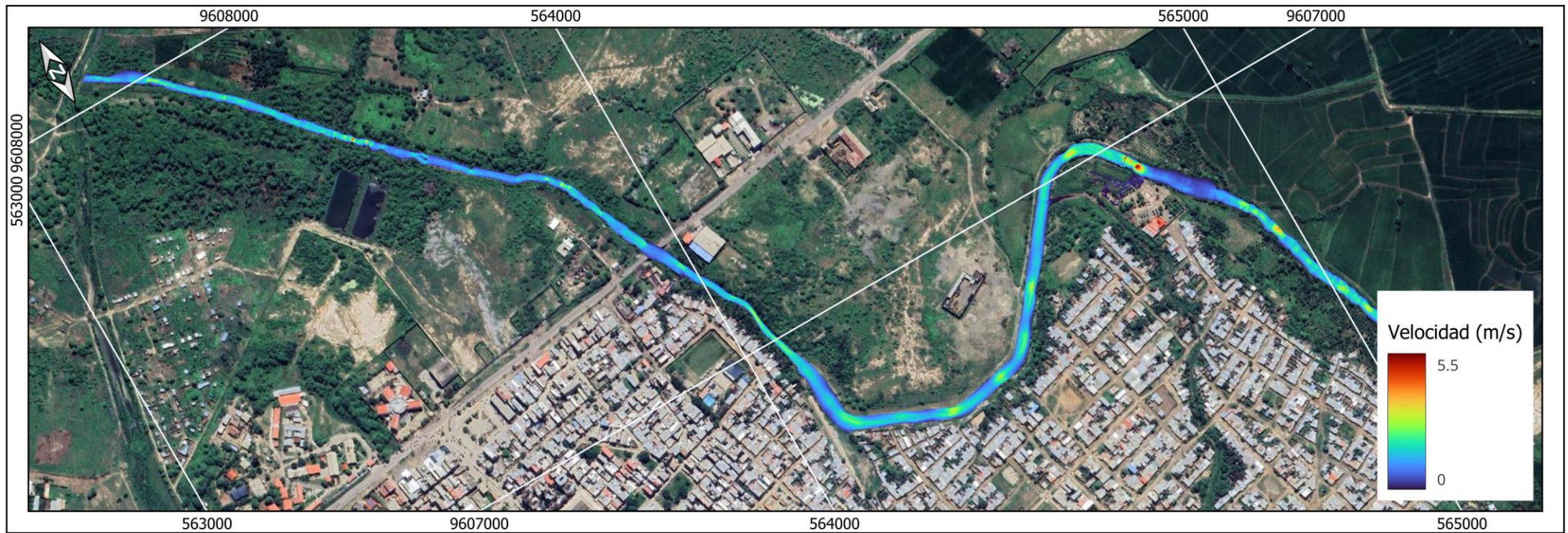
564000

565000

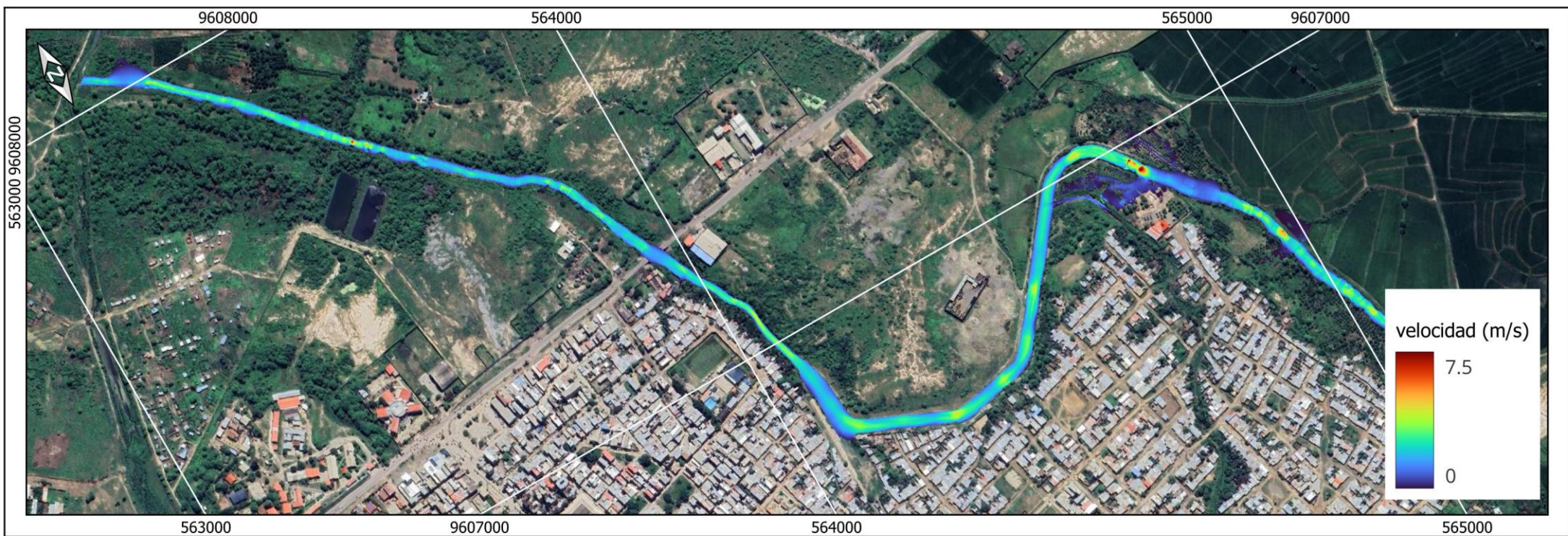
9606000

9606000

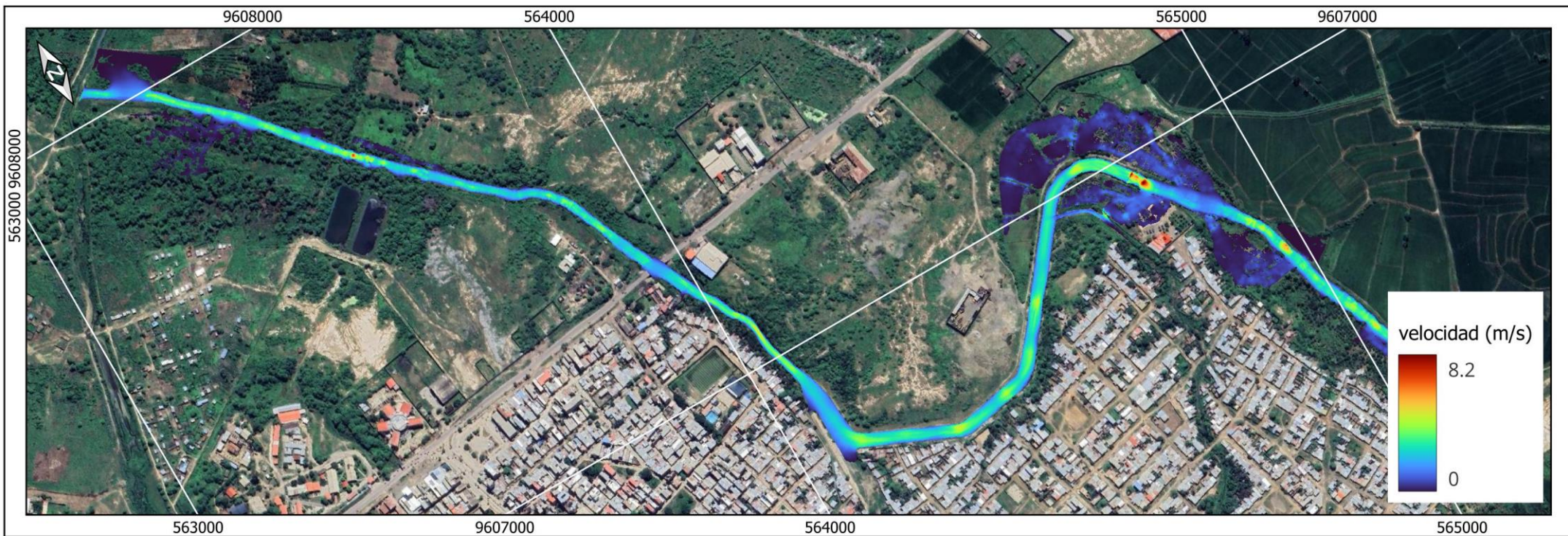
MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDAD TR 25 AÑOS



MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDAD TR 50 AÑOS



MAPA DE TIRANTES Y VELOCIDAD TR 100 AÑOS



Matriz de consistencia

TITULO	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	HIPOTESIS GENERAL Y ESPECÍFICOS	VARIABLES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
Modelamiento hidrológico e hidráulico para la estimación de áreas inundables en la Quebrada Luey- Tumbes ,2023	<p>OBJETIVO GENERAL -Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico en la quebrada Luey para la estimación de áreas vulnerables a inundación...</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1.Obtener los parámetros geomorfológicos de la microcuenca de la quebrada Luey . 2.Analizar estadísticamente las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas de la estación campamento sede. 3.Estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en la quebrada Luey, usando la metodología de creager y racional modificado. 4.Elaborar mapas de inundación de la quebrada Luey, haciendo uso de los sistemas de información geográfica.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL - El modelamiento hidrológico e hidráulico de la quebrada Luey permite estimar las áreas vulnerables por inundación.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS 1.La microcuenca Luey presenta características geomorfológicas correspondientes a cuencas costeras cuyas aguas drenan hacia el Océano Pacífico. 2.La información de precipitación máxima en 24 horas obtenida de la estación campamento sede es consistente. 3.Los caudales máximos para la quebrada Luey se obtienen a partir de fórmulas empíricas que utilizan como insumo los datos de precipitación. 4.Los programas SIG permiten graficar la mancha de inundación generada en el modelo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Modelamiento hidrológico e hidráulico</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Áreas inundables</p>	No experimental Cuantitativo, Descriptivo, Explicativo	<p>1- METODO Descriptivo</p> <p>2- TECNICA DE INVESTIGACIÓN Observación</p>	<p>POBLACIÓN - La cuenca del rio Tumbes</p> <p>MUESTRA -Microcuenca de la quebrada Luey.</p>

Fuente: Elaboración propia

