

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS:

“IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO
JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS – CHOTA”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. TARRILLO NUÑEZ GEINER

ASESOR:

Dr. Ing. MÉNDEZ CRUZ GASPAR VIRILO

CAJAMARCA - PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** GEINER TARRILLO NUÑEZ
DNI: 77673297
Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. **Asesor:** Gaspar Virilo Méndez Cruz
Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS - CHOTA

6. **Fecha de evaluación:** 02/12/2024

7. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 23%

9. **Código Documento: Oide:** 3117:411995507

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 02 de diciembre de 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 02/12/2024 23:13:10-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por su gran apoyo a lo largo de los años de mi vida universitaria. Su constante respaldo ha sido un pilar fundamental que me ha permitido culminar satisfactoriamente mi trayectoria universitaria.

A mi estimado asesor, el Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, por sus valiosas orientaciones que han sido de gran aporte para mejorar este trabajo en su calidad.

A mi querida Universidad Nacional de Cajamarca, especialmente a la Facultad de Ingeniería, que me ha acogido durante esta etapa y me ha brindado las herramientas necesarias para crecer tanto como persona y profesional.

DEDICATORIA

A mis padres, Abner Tarrillo Muñoz y María Herminda Núñez Ruiz.

A mis Hermanos, en especial a mi hermanita Yari que un ACV le impidió cumplir su sueño de terminar su carrera profesional y hoy me bendice desde el cielo.

Al Dios todopoderoso que día a día me bendice y me guía para lograr mis objetivos.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. PROBLEMA.....	16
1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	16
1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	17
1.1.4. HIPOTESIS	17
1.1.5. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.1.5.1. Justificación científica	17
1.1.5.2. Justificación técnico práctica.....	18
1.1.5.3. Justificación institucional y personal.....	18
1.1.6. DELIMITACIÓN.....	18
1.1.7. LIMITACIONES	19
1.1.8. ALCANCES.....	19
1.1.9. OBJETIVOS:	19
1.1.9.1. Objetivo general	19
1.1.9.2. Objetivos específicos:.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	21
2.1.3. Antecedentes regionales y/o locales.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1. Cartografía.....	23
2.2.1.1. Mapa	23
2.2.2. Topografía	23
2.2.2.1. Levantamiento Topográfico	24
2.2.3. Software para Sistema De Información Geográfica.....	24
2.2.3.1. ArcGIS.....	24

2.2.4.	Hidrología.....	24
2.2.5.	Cuenca hidrológica.....	24
2.2.5.1.	Tipos	25
2.2.5.2.	Parámetros de forma.....	25
2.2.5.3.	Parámetros de relieve.....	28
2.2.5.4.	Parámetros relativos al drenaje.....	29
2.2.6.	Análisis de frecuencias.....	31
2.2.7.	Prueba de datos dudosos	31
2.2.8.	Distribuciones estadísticas	32
2.2.8.1.	Distribución normal.....	32
2.2.8.2.	Distribución Log Normal de 2 parámetros	33
2.2.8.3.	Distribución Log Normal de 3 parámetros	33
2.2.8.4.	Distribución Gamma 2 parámetros.....	33
2.2.8.5.	Distribución Gamma 3 parámetros.....	34
2.2.8.6.	Distribución LogPearson tipo III.....	34
2.2.8.7.	Distribución Gumbel	34
2.2.8.8.	Distribución Log Gumbel.....	35
2.2.9.	Prueba de bondad de ajuste	35
2.2.9.1.	Kolmogorov-Smirnov.....	35
2.2.10.	Modelamiento hidrológico	36
2.2.10.1.	Periodo de retorno	36
2.2.10.2.	Intensidad de lluvia.....	37
2.2.10.3.	Tiempo de concentración (Tc).....	39
2.2.10.4.	Curvas intensidad- duración - frecuencia (IDF).....	41
2.2.10.5.	Hietograma de diseño	41
2.2.11.	Determinación de caudales máximos	42
2.2.11.1.	Método SCS.....	43
2.2.11.1.1.	Número de curva.....	43
2.2.11.1.2.	Determinación del número curva.....	44
2.2.12.	Software para cálculos hidrológicos.....	48
2.2.12.1.	Hidroesta 2.....	48
2.2.12.2.	HEC-HMS	48
2.2.12.2.1.	Modelamiento hidrológico con Hec - Hms.....	49
2.2.13.	Modelamiento hidráulico.....	50

2.2.14.	Tipos de flujo.....	50
2.2.15.	Coefficiente de Manning.....	51
2.2.16.	Modelamiento hidráulico.....	52
2.2.16.1.	Software Iber	52
2.2.17.	Inundaciones.....	55
2.2.17.1.	Peligrosidad	56
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		57
3.1.	Ubicación.....	57
3.2.	Materiales.....	58
3.2.1.	Información Meteorológica.....	58
3.2.2.	Información Cartográfica	59
3.2.3.	Información Topográfica.....	60
3.2.4.	Equipos utilizados	61
3.2.5.	Softwares.....	61
3.3.	Procedimiento	62
3.3.1.	Delimitación de la cuenca	62
3.3.2.	Parámetros de forma de la cuenca.....	66
3.3.3.	Parámetros de relieve de la cuenca	67
3.3.4.	Parámetros de drenaje de la cuenca.....	69
3.3.5.	Caracterización desde el punto de vista fluvial.....	70
3.3.6.	Identificación de las áreas inundadas	70
3.3.7.	Modelamiento Hidrológico	71
3.3.8.	Modelamiento hidráulico	93
CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		102
4.1.	Información Hidrológica.....	102
4.2.	Información cartográfica.....	102
4.3.	Información topográfica.....	103
4.4.	Parámetros de la cuenca.....	104
4.5.	Modelamiento hidrológico.....	107
4.5.1.	Caudales máximos.....	107
4.6.	Modelamiento hidráulico	109
4.6.1.	Modelamiento para TR=50 años	110
4.6.2.	Modelamiento para TR=70 años	111
4.6.3.	Modelamiento para TR=100 años	113

4.6.4. Modelamiento para $T_r=150$ años	115
4.6.5. Modelamiento para $T_R=200$ años	117
4.7. Mapas de peligrosidad	119
4.8. Discusión de resultados.....	133
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
5.1. Conclusiones	135
5.2. Recomendaciones	135
CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factor de forma de Horton.....	26
Tabla 2 Formas de la cuenca.....	27
Tabla 3 Formas de la cuenca según la Razón de Elongación	27
Tabla 4 Formas de la cuenca según Relación de circularidad	28
Tabla 5 Cuenca de acuerdo a la pendiente media	29
Tabla 6 Relación de bifurcación	30
Tabla 7 Valores Kn para la prueba de datos dudosos	32
Tabla 8 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov - Smirnov	35
Tabla 9 Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje	37
Tabla 10 Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora.....	38
Tabla 11 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración.....	40
Tabla 12 CN o número de curva para diferentes usos de suelo	44
Tabla 13 <i>Descripción de cobertura y reclasificación</i>	45
Tabla 14 Mapa de suelo y su reclasificación	46
Tabla 15 Numero de curva según su grupo Hidrológico	47
Tabla 16 Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)	51
Tabla 17 Estación Chotano Lajas (Código 106084)	58
Tabla 18 Equipos usados.....	61
Tabla 19 Precipitaciones máximas anuales sin datos dudosos – estación Chotano Lajas	72
Tabla 20 Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov.....	77
Tabla 21 Precipitaciones periodos de retorno sin corregir.....	78
Tabla 22 Precipitaciones para diferentes periodos de retorno corregidas.....	78
Tabla 23 Tabla de atributos mediante software Arc Gis.....	87
Tabla 24 Calculo del número de curva de la cuenca del rio Jalqueño	87
Tabla 25 Número de Manning para los diferentes usos de suelo.....	96
Tabla 26 Parámetros de forma de la cuenca	104
Tabla 27 Caudales máximos para los distintos periodos de retorno	107
Tabla 28 Niveles de peligrosidad para áreas inundadas	120
Tabla 29 Áreas inundadas para TR=50 años	120
Tabla 30 Áreas inundadas para TR=70 años	121

Tabla 31 Áreas inundadas para TR=100 años	121
Tabla 32 Áreas inundadas para TR=150 años	122
Tabla 33 Áreas inundadas para TR=200 años	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Cuenca hidrográfica exorreica.....	25
Figura 2	Curvas hipsométricas según el ciclo de erosión.....	28
Figura 3	Grafico de histograma de frecuencias	29
Figura 4	Orden de corrientes de acuerdo a Horton.....	30
Figura 5	Gráfica de una distribución normal	32
Figura 6	Ejemplo Curvas I-D-F.....	41
Figura 7	Modelo de Hietograma de Diseño.....	42
Figura 8	Mapa conceptual para la determinación del número de curva	45
Figura 9	Software HidroEsta 2	48
Figura 10	Software Iber	53
Figura 11	Edición de nodos de una malla en Iber.....	54
Figura 12	Malla para cálculo	54
Figura 13	Propagación de inundación y el calado de la lámina de agua	55
Figura 14	Ubicación de la ciudad de Lajas.....	57
Figura 15	Curvas de nivel de la carta nacional 14f.....	60
Figura 16	Rios , quebradas y curvas de nivel en el distrito de Lajas.....	62
Figura 17	DEM del distrito de Lajas	63
Figura 18	Flow Direction del distrito de Lajas	63
Figura 19	Flow Accumulation del distrito de Lajas	64
Figura 20	Cuenca del Rio Jalqueño	64
Figura 21	TIN de la cuenca del Rio Jalqueño.....	65
Figura 22	Relieve de la cuenca del Rio Jalqueño	65
Figura 23	Área y Perímetro en mediante tabla de atributos en Arc gis	66
Figura 24	Longitud de la cuenca del rio Jalqueño	66
Figura 25	Áreas para 6 intervalos de curvas de nivel	67
Figura 26	Valores de áreas correspondientes a los intervalos de curvas de nivel	67
Figura 27	Curva hipsométrica de la cuenca.....	68
Figura 28	Curvas de nivel en la cuenca del rio Jalqueño.....	68
Figura 29	Histograma de frecuencias de altitudes	69
Figura 30	Cuenca del rio Jalqueño con número de orden de sus afluentes.	69

Figura 31 Identificación de usos de suelo (Rugosidades).....	70
Figura 32 Verificación de datos dudosos-umbral bajo y alto	71
Figura 33 Parámetros estadísticos.....	73
Figura 34 Distribución normal.....	74
Figura 35 Distribución Log-normal de 2 parámetros	74
Figura 36 Distribución Log-normal de 3 parámetros	75
Figura 37 Distribución Gamma de 2 parámetros.....	75
Figura 38 Distribución Gamma de 3 parámetros.....	76
Figura 39 Distribución Gumbel	76
Figura 40 Distribución log-Gumbel.....	77
Figura 41 Ecuación de la intensidad máxima	79
Figura 42 Curvas I-D-F en HydroEst 2.....	80
Figura 43 Curvas I-D-F correspondientes a los periodos de retorno analizados	80
Figura 44 Hietograma de precipitación de diseño (TR=50años).....	81
Figura 45 Hietograma de precipitación de diseño (TR=70años).....	81
Figura 46 Hietograma de precipitación de diseño (TR=100años).....	82
Figura 47 Hietograma de precipitación de diseño (TR=150años).....	82
Figura 48 Hietograma de precipitación de diseño (TR=200años).....	83
Figura 49 Cuenca del rio Jalqueño en el software Hec - Hms.....	83
Figura 50 Punto de entrada y salida en la cuenca	84
Figura 51 Método SCS Curve Number y el SCS Unit Hydrograph	84
Figura 52 Rango de número de curva según el ANA	85
Figura 53 Cobertura vegetal delimitada por la cuenca del del rio Jalqueño.....	85
Figura 54 Uso del suelo delimitado por la cuenca del rio Jalqueño	86
Figura 55 Números de curva dentro de la cuenca.....	86
Figura 56 Asignación del valor del número de curva.....	87
Figura 57 Asignación del valor de Lag Time	88
Figura 58 Datos de serie de tiempo para Tr=50 años	88
Figura 59 Datos de serie de tiempo para Tr=70 años	89
Figura 60 Datos de serie de tiempo para Tr=100 años	89
Figura 61 Datos de serie de tiempo para Tr=200 años	90

Figura 62 Asignación de precipitación en el modelo meteorológico	90
Figura 63 Especificaciones de control	91
Figura 64 Creación de simulaciones	91
Figura 65 Caudal mediante simulación para $Tr=50$ años	91
Figura 66 Caudal mediante simulación para $Tr=70$ años	92
Figura 67 Caudal mediante simulación para $Tr=100$ años	92
Figura 68 Caudal mediante simulación para $Tr=200$ años	92
Figura 69 Área de estudio mediante Ortofoto	93
Figura 70 Curvas de nivel y puntos COGO de la zona de estudio	94
Figura 71 TIN del área de estudio	95
Figura 72 Superficie DEM en 2d del área de estudio	95
Figura 73 Malla de cálculo del área de estudio	96
Figura 74 Rugosidades del área de estudio para Iber.	97
Figura 75 Asignación de la entrada en Iber (Inlet)	97
Figura 76 Asignación de la salida (Outlet)	98
Figura 77 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR = 50$ años)	98
Figura 78 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR= 70$ años)	99
Figura 79 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR = 100$ años)	99
Figura 80 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR = 150$ años)	99
Figura 81 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR = 200$ años)	100
Figura 82 Datos ingresados para la simulación 2D en Iber	100
Figura 83 Información de la simulación durante intervalos de tiempo en Iber	101
Figura 84 Resultados del cálculo del modelamiento hidráulico en Iber	101
Figura 85 Máxima y mínima precipitación documentada en la estación Chotano Lajas	102
Figura 86 Altitudes del distrito de Lajas.....	103
Figura 87 Vista 3D del área estudiada	103
Figura 88 Morfología de la cuenca del río Jalqueño	105
Figura 89 Morfología del río Jalqueño en el área de estudio.....	105
Figura 90 Levantamiento topográfico del río Jalqueño	106
Figura 91 Vista del fondo del río Jalqueño.....	106
Figura 92 Lectura de secciones transversales del río Jalqueño	107

Figura 93 Hidrogramas para los distintos periodos de retorno	109
Figura 94 Malla de cálculo del área de estudio	109
Figura 95 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=50 años.....	110
Figura 96 Velocidades en el área de estudio para TR=50 años	111
Figura 97 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=70 años.....	112
Figura 98 Velocidades en el área de estudio para TR=70 años	113
Figura 99 Tirantes (Calado) en el área de estudio para Tr=100 años	114
Figura 100 Velocidades en el área de estudio para TR=100 años	115
Figura 101 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=150 años.....	116
Figura 102 Velocidades en el área de estudio para TR=150 años	117
Figura 103 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=200 años.....	118
Figura 104 Velocidades en el área de estudio para TR=200 años	119
Figura 105 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para Tr=50 años	123
Figura 106 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para Tr=70 años	124
Figura 107 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para Tr=100 años	125
Figura 108 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para Tr=150 años	126
Figura 109 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para Tr=200 años	127
Figura 110 Mapa de inundaciones con niveles peligrosidad para Tr=50 años.....	128
Figura 111 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para Tr=70 años	129
Figura 112 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para Tr=100 años	130
Figura 113 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para Tr=150 años	131
Figura 114 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para Tr=200 años	132

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es identificar las áreas de inundación causadas por las máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas, Chota. El estudio comenzó con la recolección y organización de los datos hidrológicos proporcionados por el SENAMHI, junto con la información cartográfica del área fluvial, obtenida de cartas nacionales, levantamientos topográficos y ortofotos generadas por dron. Se emplearon herramientas como ArcGIS para calcular los parámetros de la cuenca. A continuación, se realizaron los modelos hidrológicos utilizando el software HEC-HMS y los modelos hidráulicos con el programa Iber, considerando cinco periodos de retorno: 50, 70, 100, 150 y 200 años. Estos modelos permitieron la elaboración de mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad. Siendo los resultados del modelado hidrológico indicaron caudales máximos de 63.4, 67.4, 75.6, 79.5 y 85.7 m³/s respectivamente, siendo el caudal de 63.4 m³/s el que causó la inundación de 2022, según las huellas dejadas y por los testimonios de los habitantes. En el modelado hidráulico, se calcularon tirantes y velocidades que variaron entre 0.01 y 1.76 m, y entre 0.0 y 8.76 m/s, para el periodo de retorno de 50 años que ocasionó la inundación de 2022. Además, se estimaron las áreas inundadas para las máximas avenidas: 3112.60 m² en áreas de inundación muy alta, 11907.27 m² en áreas de inundación alta, 3463.41 m² en áreas de inundación media y 8327.56 m² en áreas de inundación baja. se concluye que las áreas con mayor nivel de inundación son, el Jr. Andrés Martines, Av. Chiclayo, Jr. Rosendo Mendivel, Jr. Feliberto Barreda, Complejo Villa Lourdes y propiedades de terceros, pertenecientes a los diferentes usos de suelo.

Palabras Clave:

- Áreas inundables: son las zonas planas o de pendiente suave ubicadas junto a un afluente de agua, las cuales se ven cubiertas por el agua durante una crecida.
- Máximas avenidas: se refiere al caudal máximo que puede presentarse en un curso de agua para un periodo de retorno determinado.
- Modelamiento hidrológico: es una simulación basada en parámetros físicos o matemáticos que permite caracterizar y determinar los caudales máximos.
- Modelamiento hidráulico: consiste en el análisis digital de una red de distribución de agua, que permite reproducir y prever su comportamiento.

ABSTRACT

The objective of this research is to identify the flood-prone areas caused by the maximum discharges of the Jalqueño River in the city of Lajas, Chota. The study began with the collection and organization of hydrological data provided by SENAMHI, along with cartographic information of the river area obtained from national maps, topographic surveys, and drone-generated orthophotos. Tools such as ArcGIS were used to calculate the watershed parameters. Subsequently, hydrological models were developed using the HEC-HMS software and hydraulic models with the Iber program, considering five return periods: 50, 70, 100, 150, and 200 years. These models allowed the creation of flood hazard maps. The results of the hydrological modeling indicated maximum flows of 63.4, 67.4, 75.6, 79.5, and 85.7 m³/s, respectively, with the 63.4 m³/s flow being the one responsible for the 2022 flood, according to the traces left and testimonies from local residents. In the hydraulic modeling, water depths and velocities were calculated, ranging from 0.01 to 1.76 m and from 0.0 to 8.76 m/s, for the 50-year return period that caused the 2022 flood. Furthermore, the flooded areas for the maximum discharges were estimated as follows: 3112.60 m² in very high flood areas, 11907.27 m² in high flood areas, 3463.41 m² in medium flood areas, and 8327.56 m² in low flood areas. It is concluded that the areas with the highest level of flooding include Jr. Andrés Martines, Av. Chiclayo, Jr. Rosendo Mendivel, Jr. Feliberto Barreda, the Villa Lourdes Complex, and properties belonging to third parties, associated with different land uses.

Keywords:

- Flood areas: are flat or gently sloping areas located next to a water tributary, which are covered by water during a flood.
- Maximum floods: refers to the maximum flow that can occur in a watercourse for a given return period.
- Hydrological modeling: is a simulation based on physical or mathematical parameters that allows characterizing and determining maximum flows.
- Hydraulic modeling: consists of the digital analysis of a water distribution network, which allows reproducing and predicting its behavior.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009), las inundaciones en Perú representan un problema constante anualmente, principalmente debido a la fluctuación estacional de las lluvias. Estos fenómenos son más habituales en la región andina, que se caracteriza por tener dos estaciones claramente diferenciadas: la temporada de lluvias entre octubre a abril de cada año y la temporada seca durante los meses de mayo a septiembre.

(CENEPRED, 2018) señala que el departamento de Cajamarca es susceptible a lluvias de baja y alta intensidad, las cuales pueden provocar inundaciones, deslizamientos, huaycos u otros movimientos en masa, generando situaciones de riesgo para la población, según el inventario de eventos de este tipo registrados.

En esta y muchas otras ciudades de la región andina, la temporada de lluvias se extiende desde octubre hasta abril cada año. En ocasiones, las precipitaciones son tan intensas que superan la capacidad de los ríos y quebradas, provocando desbordamientos e inundaciones tanto en áreas agrícolas como urbanas. Un ejemplo significativo de esto ocurrió en marzo de 2009, cuando el río Jalqueño se desbordó en la ciudad de Lajas, afectando a 50 viviendas, de las cuales dos quedaron inhabitables. Además, se registraron considerables pérdidas materiales, con cultivos y animales arrastrados hacia el río Chotano.

En marzo del 2010, el río Jalqueño se desbordó una vez más, afectando a 12 familias que habitaban en tres viviendas de la ciudad, asimismo, el 24 de marzo de 2022, fuertes lluvias provocaron otro desbordamiento del río Jalqueño, afectando a varias viviendas en Lajas, dejando 20 de ellas inhabitables y ocasionando significativas pérdidas materiales (INDECI, 2022).

Estos fenómenos naturales afectan de manera negativa a diversas actividades económicas como el comercio, agricultura y ganadería, poniendo en riesgo la seguridad de las viviendas y las familias cercanas al río. Por ello, es fundamental identificar las áreas propensas a inundación por desbordamiento del río Jalqueño con el objetivo de crear mapas de peligrosidad. Esto permitirá a

las autoridades competentes implementar medidas que garanticen la seguridad y salud de los habitantes que residen en la zona urbana de Lajas.

1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú se experimentan frecuentemente eventos naturales producto de fenómenos hidrometeorológicos como las lluvias generando inundaciones, en la región Cajamarca se ha identificado varios puntos vulnerables entre ellos el río Jalqueño, que ha registrado inundaciones en años anteriores, además de presentar un crecimiento poblacional ha llevado a la construcción de urbanizaciones cercanas a los cauces de agua. Por lo tanto, se busca identificar y dar a conocer las áreas con mayor nivel de peligro a inundaciones por las máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas - Chota, evaluando el nivel de riesgo de inundaciones dinámicas. Esta investigación toma en cuenta las zonas afectadas por la inundación del año 2022 en el área urbana, que ha impactado gravemente a la población local.

Al desarrollar mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad ante inundaciones, se proporciona información esencial que hasta ahora no está disponible para los habitantes ni para las autoridades, lo que les permitirá formular proyectos de prevención y mitigación a inundaciones futuras.

1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Existen áreas expuestas a inundarse por máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas – Chota?

1.1.4. HIPOTESIS

Determinar las áreas de inundación en la ciudad de Lajas, mediante mapas de inundación con niveles de peligrosidad.

1.1.5. JUSTIFICACIÓN

1.1.5.1. Justificación científica

Debido a los problemas existentes provocadas por las crecidas máximas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas se plantea identificar las áreas inundables haciendo uso del método

científico, a partir de ello se podrán obtener niveles críticos de agua y otros parámetros esenciales para desarrollar futuros métodos preventivos como descolmatación o defensas ribereñas.

1.1.5.2. Justificación técnico práctica

Para esta investigación se utilizó una metodología para crear mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad, basándose en datos históricos de precipitaciones máximas. Usando tecnología de ingeniería como herramientas para el análisis y representación geográfica (SIG), levantamientos topográficos, modelado hidrológico (HEC - HMS) y modelado hidráulico (IBER). Los resultados obtenidos consisten en mapas de inundaciones para la ciudad de Lajas, cuales permitirán a las autoridades diseñar proyectos de prevención y mitigación, y a los planificadores proponer soluciones más efectivas.

1.1.5.3. Justificación institucional y personal

La justificación de esta investigación a nivel institucional se fundamenta en el apoyo de la Universidad Nacional de Cajamarca a la gestión del riesgo frente a desastres naturales en la región, enfocándose en el planeamiento urbano y en la elaboración de proyectos de prevención y mitigación. Desde una perspectiva personal, este estudio será clave para obtener mi título de Ingeniero Civil.

1.1.6. DELIMITACIÓN

Delimitación Espacial:

Se llevó a cabo en las áreas adyacentes del río Jalqueño, comprendido entre las coordenadas E 750093.36; S 9273509.71 y E 750214.84; S 9274227.90, abarcando un tramo de 920.40 metros que atraviesa la ciudad de Lajas, en el distrito de Lajas, provincia de Chota, en el departamento de Cajamarca. El enfoque principal en este estudio fue la elaboración de mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad mediante modelamiento hidrológico software (Hec -Hms) y modelamiento hidráulico software (Iber).

Delimitación Temporal:

La investigación se realizó en el año 2024, teniendo como base los vestigios de la inundación del año 2022, siendo este el que más área inundó en la ciudad.

1.1.7. LIMITACIONES

Esta investigación se basa en datos proporcionados por diversas instituciones, como son: SENAMHI – DZ 2, que suministró las precipitaciones máximas de 24 horas mensuales de la estación meteorológica Chotano Lajas, a partir de 1990 hasta 2023. También se utilizó la carta nacional 14f del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la delimitación de la cuenca, así como los mapas temáticos del Ministerio del Ambiente (MINAM), que incluyen la caracterización de suelos y la cobertura vegetal pertenecientes a la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del departamento de Cajamarca.

1.1.8. ALCANCES

La presente investigación tiene como objetivo identificar las áreas inundables debido a las máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas, Chota, y se llevará a cabo en 2024. El estudio generará mapas de peligrosidad por riesgo de inundaciones, basados en el cálculo de caudales máximos utilizando los softwares Hidroesta y HEC-HMS. Para ello, se emplearán las precipitaciones registradas en la estación meteorológica Chotano Lajas. Asimismo, se utilizarán mapas geográficos y cartográficos obtenidos a partir de las cartas nacionales y un levantamiento topográfico, con el apoyo de un sistema GIS. Finalmente, se modelarán los caudales máximos en el software IBER y se producirán los mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad, que contribuirán a una gestión más eficiente del riesgo y mitigación de desastres.

1.1.9. OBJETIVOS:

1.1.9.1. Objetivo general

Identificar las áreas inundables por las máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas– Chota.

1.1.9.2. Objetivos específicos:

Recopilar y organizar la información hidrológica, cartográfica y topográfica, además de caracterizar el tramo de estudio y la cuenca desde una perspectiva fluvial.

Caracterizar las áreas inundables en la zona de estudio, determinando el área, el caudal y el periodo de retorno.

Realizar el modelamiento Hidrológico e Hidráulico de las máximas avenidas del río Jalqueño en la ciudad de Lajas-Chota.

Proponer mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad para inundaciones de diferentes periodos de retorno en la ciudad de Lajas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Gutiérrez, G. et al. 2022), identificaron y cuantificaron áreas de mayor peligro a inundaciones en la subcuenca de Tecehoacán, México, y desarrollar recomendaciones que puedan ayudar a resolver el impacto de futuros eventos. Como resultado del modelamiento hidráulico en IBER indican que, para 100 años de periodo de retorno, el área de inundación será 29.027,24 hectáreas y el calado o tirante alcanza los 7,45 m. También se encontró que las áreas con mayor superficie de escurrimiento fueron pastizales cultivados y áreas agrícolas, representando el 80,89% del área total. En el mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad refleja 33 localidades afectadas; asimismo, el 56,9% de ellas fueron catalogadas como áreas de alta peligrosidad.

(Espinoza, A. 2020), estudiaron la dinámica de los ríos basándose en modelado 2D. Como parte de su metodología utiliza dos etapas, en la primera etapa realiza modelamiento hidrológico con ayuda del software Hec-Hms así calcular los caudales máximos para tres periodos de retorno siendo 20, 50 y 100 años, en la segunda etapa, realiza modelamiento hidráulico en el software Iber, utilizando el método de volúmenes finitos, que generalmente requiere condiciones de contorno, coeficientes de Manning y parámetros del terreno. Como resultado, el caudal máximo en 20 años fue de 146,3 m³/s; en 50 años fue de 164,8 m³/s; en 100 años fue de 180,1 m³/s. En cuanto al número máximo de bandas, sus valores son 2,91; 3,08; cada período de retorno evaluado es de 3,21 m, y la velocidad máxima es igual a 7,53 y 7,76 m/s respectivamente; El estudio concluyó que las zonas inundables del tramo estudiado incluyen: Paseo 3 de noviembre, Paseo de los Naranjos, Avenida de las Américas, tramo Piscina Olímpica y Jr. Gilberto Gatto Sobral perteneciente al municipio de Cuenca, departamento de Azuay.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Sáenz, F. 2021), el propósito de este estudio fue elaborar mapas de inundación para Lambayeque, debido que pertenece a los departamentos con mayor número de inundaciones. El enfoque se centró un tramo del río La Leche, que abarca desde la comunidad de Manchuria hasta

la comunidad de Sandial, en el distrito de Pítipo. A través del modelamiento hidráulico realizado con el software Iber, se determinaron los tirantes máximos para 50, 100, 200 y 500 años de periodo de retorno, con valores de 3.79 m, 4.26 m, 5.02 m y 6.18 m, respectivamente. Asimismo, las velocidades para esos mismos periodos de retorno fueron de 4.63 m/s, 5.02 m/s, 5.59 m/s y 7.76 m/s, respectivamente.

(Juculaca, L. 2021), tuvo como objetivo identificar el nivel de riesgo de las áreas inundadas clasificándolas en cuatro categorías, siendo estas muy alto, alto, medio y bajo. Como metodología realizó un levantamiento topográfico del área de estudio, así como estudio de suelos y el modelamiento hidrológico de la cuenca con la ayuda del software de sistema de información geografía ArcGis, así como el software Hidráulico HEC - HMS; respecto al estudio hidráulico, se consideró el modelamiento de 2,24 km considerando dos dimensiones. Como resultados para 50, 100, 200 y 500 años de periodo de retorno, fueron 11,42 m³/s; 22,16 m³/s; 37,78 m³/s y 67,98m³/s respectivamente como caudales máximos. Concluyó que las zonas vulnerables clasificadas en los niveles de muy alto, alto, medio y bajo, fueron iguales a 0,32km²; 0,41km²; 2,51km² y 3,15km² respectivamente.

2.1.3. Antecedentes regionales y/o locales

(Saldaña, C. 2023), identificó las áreas inundables de la zona urbana del distrito de Namora, provincia de Cajamarca, Región Cajamarca. Como metodología inicio realizando un levantamiento topográfico del área de influencia en la zona de estudio que es la zona urbana de la localidad de Namora con incidencia directa con la quebrada Sarin Mayo, así como la obtención de información pluviométrica de la Estación meteorológica de Namora, que siendo procesadas con el programa Hec -Hms obteniendo el hidrograma de los caudales máximos. Con los resultados obtenidos procedió a realizar el modelamiento hidráulico mediante el software de modelado Hidráulico Iber y finalmente con la ayuda de los sistemas de información geográfica a partir de los softwares ArcGis logró zonificar las áreas inundables en la zona urbana de la localidad de Namora. Como resultados obtuvo las áreas inundables con un nivel de intensidad para inundaciones dinámicas muy alta, alta, media y baja, siendo estas de 15630.0; 18119.0; 20143.0 y 23489.0 m² para periodos de retorno de 50, 70, 100, 200 años respectivamente.

Concluyó que la ciudad de Namora era una zona muy vulnerable ante máximas avenidas para periodos de retornos desde 70 años a más.

(Aparicio, C. 2021), el objetivo de este estudio fue identificar las zonas inundables del río Quinuas en la comunidad de La Quispa. La metodología empleada incluyó un levantamiento topográfico de la zona, validado con imágenes satelitales obtenidas mediante los softwares ArcGIS y SASPlanet. Para el modelamiento hidrológico, se utilizaron los datos de la estación meteorológica La Encañada y se caracterizó la cuenca del río Quinuas, estableciendo el puente del centro poblado como punto de concentración. El modelado hidrológico se basó en los cálculos de caudales máximos obtenidos con el software HidroEsta 2, utilizando el método racional. Con estos valores, se simuló, mediante el software Iber, tres escenarios para 15, 25 y 40 años de periodo de retorno, cuyos resultados fueron caudales de 110.7 m³/s, 123.9 m³/s y 136.84 m³/s, respectivamente. Finalmente, se analizaron las tendencias de inundación para cada uno de los escenarios modelados y se generó un mapa único de inundación utilizando sistemas de información geográfica.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. Cartografía

Según (Rystedt, B. 2015), conjunto de métodos dedicados a la creación, utilización y análisis de mapas. Estos fueron elaborados para facilitar la planificación territorial y fueron de gran utilidad. “Actualmente, los mapas se elaboran mediante software cartográfico y se distribuyen a través de diferentes medios en Internet.

2.2.1.1.Mapa

Para (Rystedt, B. 2015), representan relaciones espaciales entre elementos geográficos como edificios, ríos, fronteras, vías, etc.

2.2.2. Topografía

Para (Gámez, W. 2015), ciencia que se encarga de recolectar la información necesaria de medidas pequeñas y grandes áreas de terreno, representándolas, incluyendo la forma y características de los planos de la estructura en particular. Estas mediciones se basan en ángulos

horizontales y verticales, diferentes puntos de interés. y ángulos determinados por medidas y ajustes.

2.2.2.1. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico consiste en un conjunto de procedimientos necesarios para establecer la ubicación de los puntos de interés y su posterior representación en un plano. Dado que se realizan sobre áreas pequeñas, se puede asumir que la curvatura de la Tierra no tiene un impacto significativo en los resultados. Este proceso se divide en dos fases: la fase de campo, en la cual se toman las medidas y ángulos, y la fase de gabinete, donde se elaboran los planos.

2.2.3. Software para Sistema De Información Geográfica

2.2.3.1. ArcGIS

Sistema de información geográfica (SIG) completo que ofrece una estructura para implementar SIG tanto para un único usuario como para múltiples usuarios. Con ArcGIS los usuarios tienen la capacidad de trabajar con mapas, datos tabulares y diversas fuentes de información geográfica facilitando la toma de decisiones fundamentadas en análisis espacial.

2.2.4. Hidrología

La hidrología es la disciplina científica que analiza la distribución, flujo y las diferentes características del agua en la superficial y subterránea, asimismo sus interacciones con el entorno. Esto engloba el estudio de los procesos que influyen en el ciclo del agua, como la precipitación, evaporación, infiltración y escurrimiento, además de cómo estos procesos están relacionados con factores como el clima, el relieve y las acciones humanas.

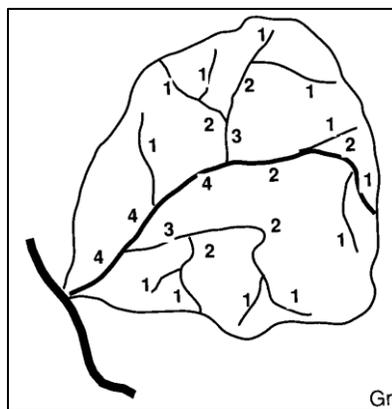
2.2.5. Cuenca hidrológica

Asimismo, según (Breña, A & Jacobo, M. 2006) son superficies por donde las aguas producto de la precipitación son transportadas por escorrentía hacia zonas más bajas, a menudo depositándose en embalses, vertidas en otras cuencas circundantes o vertidas al mar. Una cuenca hidrológica representa la unidad clave en el estudio de la hidrología, al igual que un acuífero es la unidad básica de la hidrología subterránea.

2.2.5.1. Tipos

- a) **Cuenca endorreicas o cerradas:** es una cuenca hidrográfica en la que el agua no tiene desembocadura al mar u océano. Es decir, el agua que cae como precipitación o fluye dentro de la cuenca queda retenida acumulándose en lago i evaporándose,
- b) **Cuenca exorreicas o abiertas:** es aquella en la que el agua tiene salida al mar u océano, en este tipo de cuenca el agua fluye a través de ríos, arroyos y finalmente desemboca en el mar, facilitando así el drenaje hacia el exterior.

Figura 1: *Cuenca hidrográfica exorreica*



Fuente: (Breña, A & Jacobo, M. 2006)

2.2.5.2. Parámetros de forma

Según (Cardona, B. 2016), la forma de la cuenca es un parámetro que tiene una influencia crucial en las características de drenaje del río, especialmente durante períodos de grandes inundaciones.

- a) **Área (A):** Extensión total de la cuenca se expresa en unidades de superficie como kilómetros cuadrados, este parámetro es fundamental para estimar caudales y volúmenes de agua que drenan hacia un punto de salida de la cuenca.
- b) **Perímetro (P):** Es la medida total en kilómetros del contorno de la cuenca, que abarca sus límites exteriores, este parámetro está relacionado con la capacidad para recolectar y drenar el agua.

- c) **Longitud de la cuenca (L):** Se refiere a la distancia más larga medida desde el cauce principal del río o arroyo que drena dicha cuenca o desde el punto más alto de la cuenca (generalmente en las divisorias de aguas) hasta su desembocadura o punto de salida, se expresa generalmente en metros o kilómetros.
- d) **Ancho de la cuenca (B):** Se refiere a la distancia transversal máxima el cual mantiene una relación entre el área y la longitud de la cuenca.

$$B = \frac{A}{L} \quad (1)$$

- e) **Factor de Forma de Horton (Kf):** Parámetro que describe la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de su longitud. Las cuencas con factores de forma más pequeños son menos susceptibles a inundaciones que las cuencas con la misma área y factores de forma más altos.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Tabla 1 *Factor de forma de Horton*

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: (Cardona, B. 2016)

- f) **Coefficiente de compacidad (kc):** Este parámetro describe la geometría de la cuenca hidrográfica. Se obtiene mediante la relación del perímetro de la cuenca y el perímetro del círculo, generalmente favorece a un drenaje más rápido y eficiente del agua.

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (3)$$

P = Perímetro de la cuenca

Pc = Perímetro de la circunferencia

R = Radio de la circunferencia.

Tabla 2 Formas de la cuenca

Clase de Forma	Índice de Compacidad	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	1.51 ó más de 2	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: (Cardona, B. 2016)

g) Razón de Elongación (Re): parámetro útil para evaluar la eficiencia del drenaje de una cuenca. Se calcula mediante la relación entre el diámetro de un círculo con la misma área de la cuenca y la longitud máxima del cauce de la misma.

$$R_e = \frac{D}{L_c} = \frac{1.1284\sqrt{A_c}}{L_c} \quad (4)$$

Dónde: Re = Relación de elongación

D = Diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca

Lc = Longitud de la cuenca

Ac = Área de la cuenca

Tabla 3 Formas de la cuenca según la Razón de Elongación

Clase de forma	Forma de la Cuenca
0.8 - 1.0	Plana y circular
0.5 - 0.8	Plana con porciones accidentales

Fuente: (Cardona, B. 2016)

h) Relación de circularidad (Rci): Este parámetro indica que tan similar es la forma de la cuenca a un círculo perfecto.

$$Rci = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

A=Área de la cuenca

P= perímetro de la cuenca

Tabla 4 Formas de la cuenca según Relación de circularidad

Clase de forma	Forma de la Cuenca
0.785 - 1	Cuenca circular
< 0.785	Cuenca rectangular

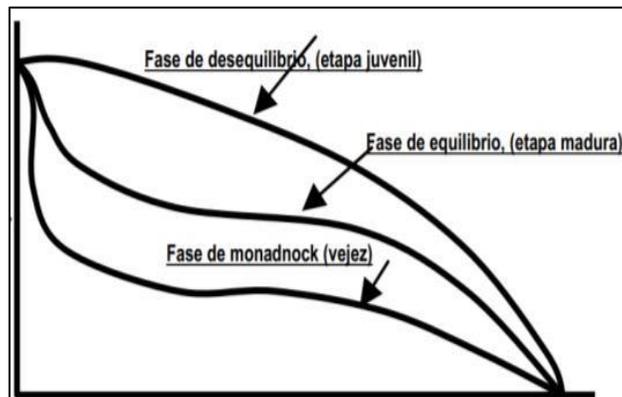
2.2.5.3. Parámetros de relieve

También para (Cardona, B. 2016), A medida que aumenta la pendiente, disminuye el tiempo de concentración del agua de escorrentía en el cauce principal y sus afluentes. Los parámetros principales son:

- a) **Curva Hipsométrica:** Esto permitirá la caracterización del terreno derivada de los niveles de elevación registrados en MDT (modelo digital de terreno o elevaciones) y complementará las estimaciones de superficie acumuladas en cada cota.

A partir del análisis hipsométrico se podrá identificar el ciclo de erosión y el estado de desarrollo que pertenece la cuenca.

Figura 2: Curvas hipsométricas según el ciclo de erosión



Fuente: (Cardona, B. 2016)

- b) **Pendiente media de la cuenca (m):** parámetro clave para describir el relieve de las cuencas y se puede asociar con la aparición de fenómenos de erosión en la superficie. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$m = 100 \times \frac{(\sum Li)(E)}{A} \quad (6)$$

Donde: m = Pendiente media de la cuenca (%).

$\sum Li$ = Sumatoria de longitudes de curvas de nivel (km).

E = distancia entre curvas de desnivel (km).

A = Área de la cuenca (Km²).

Tabla 5 Cuenca de acuerdo a la pendiente media

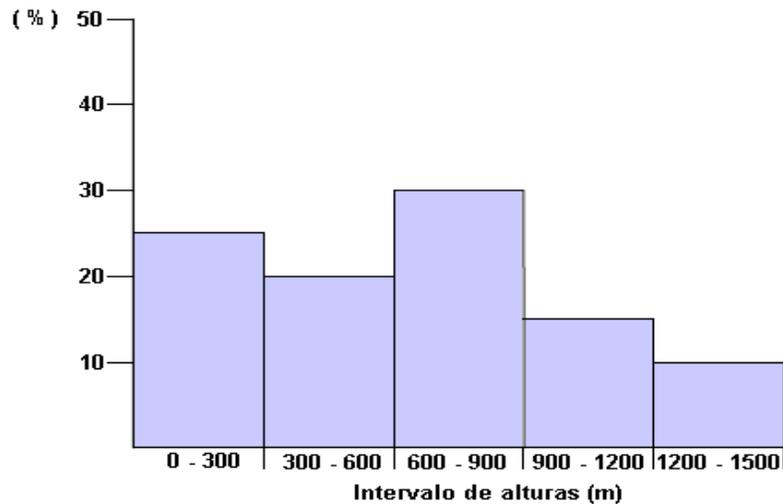
Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: (Cardona, B. 2016)

c) **Elevación media:** La elevación media se calculará como el 50% del área de la cuenca utilizando la curva hipsométrica, donde el porcentaje se aplicará en el eje "X" del gráfico.

d) **Histograma de frecuencias altimétricas:** Grafico donde se ilustrará distribución de altitudes a lo largo de un área de una cuenca hidrográfica.

Figura 3: Grafico de histograma de frecuencias



Fuente: (Ibáñez, S. et al. 2010)

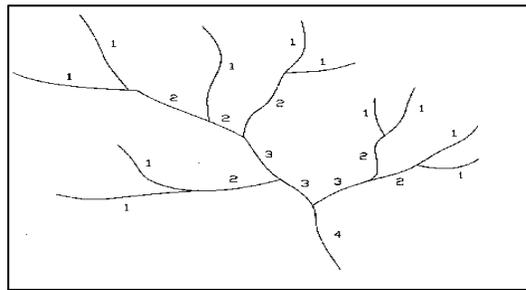
2.2.5.4. Parámetros relativos al drenaje

Para (Cardona, B. 2016), los parámetros que destacan son:

a) **Orden de los cauces:** La disposición de las corrientes señala el grado de bifurcación en la cuenca. Hay varios procedimientos para llevar a cabo esta clasificación, como el de Horton:

- Orden uno son aquellos arroyos o riachuelos que no tiene tributarios.
- Se forma generalmente por la unión de dos cauces o arroyos de orden uno $i+1$.
- Cuando una corriente se une a otra de orden superior, el cauce resultante adopta el orden más alto entre ambos.

Figura 4: Orden de corrientes de acuerdo a Horton



Fuente: (Cardona, B. 2016)

b) **Relación de bifurcación (Rb):** Propuesto por Horton, es el cociente entre el número de cauces o ramificaciones orden (Nu) y la cantidad de cauces de orden (u) del orden superior:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (7)$$

Donde: Rb = Relación de bifurcación

Nu = Número total de ramificaciones con orden U

U = Orden de cauce.

Tabla 6 Relación de bifurcación

Relación de bifurcación	Drenaje de la Cuenca
3 - 5	Las estructuras geológicas no distorsiona el modelo de drenaje
<3 ;5>	Las estructuras geológicas distorsiona el modelo de drenaje

Fuente: (Ibáñez, S. et al. 2010)

c) **Densidad de drenaje:** permite obtener una comprensión más profunda de la complejidad y evolución del sistema de drenaje de la cuenca, el cual se determina dividiendo la longitud total de los cursos de agua de la cuenca entre el área total que los abarca.

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (8)$$

Donde: D_d = densidad de drenaje

L = sumatoria de las longitudes de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km.

A = área de la cuenca en km^2

2.2.6. Análisis de frecuencias

Para (Estrada, Y. & Rojas, D. 2013), Es un método para calcular la probabilidad o la ocurrencia de eventos pasados o futuros.

2.2.7. Prueba de datos dudosos

Según (Chow, V. et al. 1994), son puntos de datos que se desvían considerablemente de la tendencia del resto de la información; si la asimetría de la estación supera +0.4, se analizan primero los valores altos, de lo contrario, se examinan los valores bajos.

$$Y_H, Y_L = \bar{y} + K_n S_y \quad (9)$$

Donde: Y_H, Y_L = datos dudosos altos y bajos

\bar{y} = Logaritmo medio de los picos sistemáticos

K_n = valor adimensional

S_y = desviación estándar

Tabla 7 Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: (Chow, V. et al. 1994)

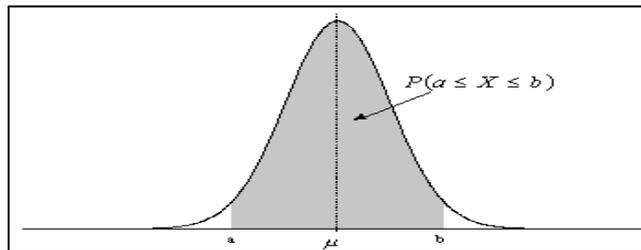
2.2.8. Distribuciones estadísticas

2.2.8.1. Distribución normal

Según (Pértegas, S., & Pita, S. (2001)) La distribución normal fue identificada por primera vez gracias al matemático francés Abraham de Moivre, y más tarde, Carl Friedrich Gauss realizó avances significativos al formular la ecuación que describe su curva, lo que ha llevado a que comúnmente se le denomine la "campana de Gauss". La distribución de una variable normal se define completamente por dos parámetros: su media (μ) y su desviación estándar (σ). Con esta notación, la densidad de la distribución normal está representada por la ecuación que describe su característica forma de campana:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}, -\infty < x < \infty \quad (10)$$

Figura 5: Gráfica de una distribución normal



Fuente: (Pértegas, S., & Pita, S. 2001)

2.2.8.2. Distribución Log Normal de 2 parámetros

Según (Aparicio, F. 1992), en esta función, los logaritmos naturales de la variable aleatoria siguen una distribución normal, aunque no necesariamente es simétrica, La función de densidad de probabilidad correspondiente es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{x\beta} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2\right\} \quad (11)$$

Donde: α = media de los logaritmos naturales (parámetro de escala)

β = desviación estándar de los logaritmos naturales (parámetro de forma)

2.2.8.3. Distribución Log Normal de 3 parámetros

Según (Villón, M. 2012), Se distingue de la log-normal de 2 parámetros por la inclusión del límite inferior x_0 , cuya función de densidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{(x-x_0)\beta} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x-x_0) - \alpha}{\beta}\right)^2\right\} \quad (12)$$

Donde: x_0 = parámetro de posición en el dominio x

α = parámetro de escala en el dominio x

β = parámetro de forma en el dominio x

2.2.8.4. Distribución Gamma 2 parámetros

Para (Villón, M. 2012), una variable aleatoria X sigue una distribución gamma de 2 parámetros si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (13)$$

Donde: γ = parámetro de forma

β = parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ = función gamma completa

2.2.8.5. Distribución Gamma 3 parámetros

Se emplea para describir la distribución de la probabilidad de incrementos decrecientes de los máximos anuales. Asimismo, cuando la información presenta una alta asimetría positiva, se aplica una transformación log, también conocida como distribución Pearson tipo III.

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (14)$$

Donde: x_0 = parámetro de posición

γ = parámetro de forma

β = parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ = función gamma completa

2.2.8.6. Distribución LogPearson tipo III

Se emplea principalmente en el estudio de la probabilidad de sucesos extremos; su objetivo es convertir los valores extremos en logaritmo en base 10, y disminuir la asimetría de los datos:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha 1r(\beta 1)} * \left\{ \frac{\text{Ln}x - \varepsilon 1}{\alpha 1} \right\}^{\beta 1 - 1} * e^{-\frac{\text{Ln}x - y}{\alpha}} \quad (15)$$

2.2.8.7. Distribución Gumbel

Según (Aparicio, F. 1992), consideremos que existen N muestras, cada una de ellas contiene n sucesos. Si se elige el x más alto de los n sucesos de cada muestra, se demuestra que a medida que n se incrementa, se asemeja a una función". Esta función de probabilidad de x se alinea con la ecuación:

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}, \text{ Para } -\infty < x < \infty \quad (16)$$

Donde: α y β son los parámetros de la distribución.

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45 \sigma$$

2.2.8.8. Distribución Log Gumbel

Para (Villón, M. 2012) se dice que una variable aleatoria X sigue una distribución Log-Gumbel si su función densidad de probabilidad está definida de acuerdo con dicha distribución.

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(\ln x - \beta)}} \quad (17)$$

Donde: α = parámetro de escala

β = parámetro de posición

2.2.9. Prueba de bondad de ajuste

Verifica si la muestra o los datos se ajustan a la distribución de probabilidad utilizada. Este paso es fundamental para determinar si es apropiado aplicar una distribución específica a un conjunto de datos.

2.2.9.1. Kolmogorov-Smirnov

Según (Aparicio, F. 1992), esta evaluación implica cotejar el valor máximo absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada y la proyectada, con un valor crítico d que se basa en la cantidad de datos y el grado de significancia.

$$D = \text{máx} |F_0(x_m) - F(x_m)| \quad (21)$$

Tabla 8 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov - Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n grande	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: (Aparicio, F. 1992)

Si $D < d$, se asume la hipótesis nula y se determina la función de distribución de la probabilidad observada mediante el método siguiente:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (22)$$

Donde: m es el número de orden del dato x_m en una lista de mayor a menor

n es el número de datos

2.2.10. Modelamiento hidrológico

El modelamiento hidrológico es una técnica utilizada para simular y analizar el ciclo del agua y los procesos relacionados dentro de una cuenca hidrográfica. Este enfoque emplea modelos matemáticos y computacionales para representar cómo el agua se mueve a través del entorno natural, desde la precipitación hasta la escorrentía superficial, infiltración, flujo subterráneo y su retorno a los cuerpos de agua. El objetivo del modelamiento hidrológico es comprender mejor el comportamiento de los sistemas hidrológicos, prever el impacto de eventos como lluvias intensas, gestionar recursos hídricos y diseñar medidas de mitigación contra inundaciones y sequías.

2.2.10.1. Periodo de retorno

Se refiere al promedio expresado en años en la cual descarga máxima de inundación iguala o excede una vez cada " T " años se denomina período de retorno " T ". Suponiendo que los eventos anuales son independientes, la probabilidad de falla que ocurra una inundación de esta magnitud durante un período de vida útil de " n " años se puede calcular a partir de esta tasa de recurrencia.

Para utilizar los períodos de retorno en el diseño de ingeniería es necesario considerar la relación entre la probabilidad de eventos de excedencia, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla permitida, dependiendo este último de factores económicos, sociales, tecnología, etc.

El criterio de riesgo se establece a priori en cuanto al riesgo que se espera correr si la obra falla durante su vida útil, es decir, que no ocurrirá ningún evento mayor al utilizado en el proyecto. Diseños para el año uno, año dos y todos los años de vida de la obra.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (23)$$

Tabla 9 Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Vida útil de obras hidráulicas

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.

2.2.10.2. Intensidad de lluvia

Es el ritmo de lluvia temporal, o sea, la profundidad por cada unidad de tiempo (mm/h). Podría ser la intensidad inmediata o la intensidad media durante el tiempo de la lluvia.

$$I = \frac{P}{Td} \quad (24)$$

Donde: P es la profundidad de lluvia (mm)

Td es la duración en horas

Además, nos proporciona dos métodos para determinar dichas intensidades cuando no se disponen de registros pluviométricos de lluvia.

- a) Se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración entre 1 hora y 48 horas.

Tabla 10 *Coefficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora*

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS	COEFICIENTE
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

- b) Se pueden determinar a través del método de Dick Peschke, que vincula la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (25)$$

Donde: Pd es precipitación total (mm)

d es la duración en minutos

P_{24h} es precipitación máxima en 24 horas (mm)

Al determinar las precipitaciones máximas mediante cualquier procedimiento, se realiza el cálculo de la intensidad utilizando la fórmula:

$$I = \frac{P_d * 60}{d} \quad (26)$$

2.2.10.3. Tiempo de concentración (Tc)

Según (Cardona, B. 2016), se refiere al periodo que toma una gota de agua pluvial desde el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca hidrológica hasta la sección de salida, calculado mediante la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{S} + 1.5L)}{(0.8\sqrt{H})} \quad (27)$$

Donde: t_c = Tiempo de concentración (h).
 S = Área de la cuenca (km²).
 L = Longitud del cauce principal (km).
 H = Elevación media de la cuenca (km).

Sin embargo (Estrada, Y. & Rojas, D. 2013) sugiere uno de los métodos más utilizados para determinar el tiempo de concentración, creado por Kirpich, que consta de la siguiente fórmula:

$$Tc = \left(\frac{0.870 \times L^3}{Pm}\right)^{0.385} \quad (28)$$

Dónde: Tc = Tiempo de Concentración (horas)
 L = Longitud del Cauce Principal (Kilómetros)
 Pm = Pendiente media del cauce (%)

Asimismo (Aparicio, F. 1992), afirma que se basa en la longitud máxima que el agua debe alcanzar hasta el final de la cuenca y en la velocidad media que alcanza dentro de la misma, que se determina mediante la ecuación siguiente:

$$t_c = \frac{L}{3600 v} \quad (29)$$

Dónde: Tc = Tiempo de Concentración (horas)
 L = Longitud del Cauce Principal (metros)
 v = Velocidad media del agua en el cauce principal (m/s)

Además, nos ofrece la tabla siguiente con fórmulas para establecer el tiempo de concentración:

Tabla 11 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

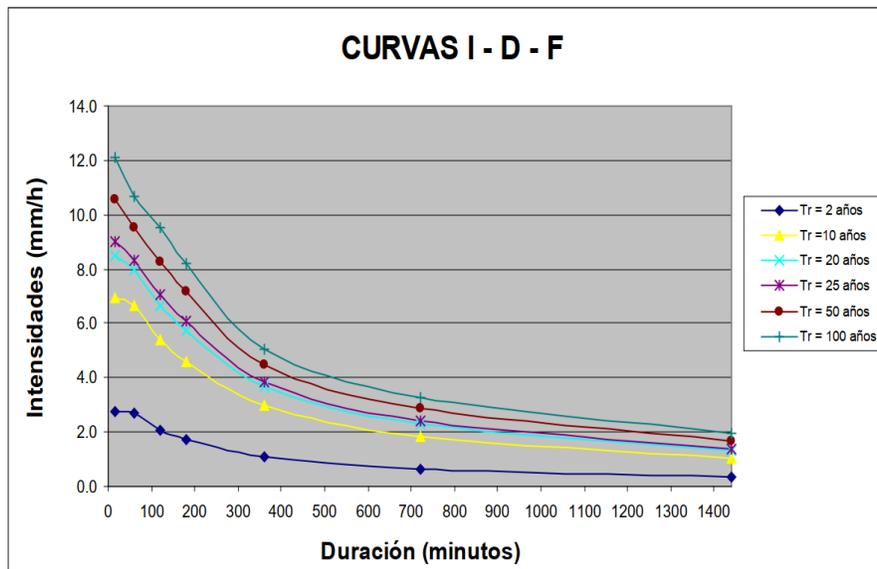
MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525(0.0000276i + c)L^{0.33}}{S^{0.333} i^{0.667}}$ <p>i = intensidad de lluvia, mm/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, m. S = pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.</p>	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>C = coeficiente de escorrentía del método racional. L = longitud del flujo superficial, m. S = pendiente de la superficie, m/m</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7L^{0.6} n^{0.6}}{I^{0.4} S^{0.3}}$ <p>L = longitud del flujo superficial, m. n = coeficiente de rugosidad de Manning. I = intensidad de lluvia, mm/h. S = pendiente promedio del terreno-m/m.</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (Intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ <p>L = longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo), m. CN = Número de curva SCS S = pendiente promedio de la cuenca, m/m.</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67 \times$ retardo de la cuenca.

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

2.2.10.4. Curvas intensidad- duración - frecuencia (IDF)

Según (Estrada, Y. & Rojas, D. 2013), para realizar este cálculo es necesario disponer de datos históricos de estaciones meteorológicas de precipitación máxima en 24 horas de parámetro mensual situadas dentro o cerca de la cuenca. Con estos datos, se calculan los valores máximos de precipitación de cada año, con el objetivo de llevar a cabo pruebas de bondad y determinar la distribución estadística que mejor se ajusta a los datos.

Figura 6: Ejemplo Curvas I-D-F



2.2.10.5. Hietograma de diseño

Es una representación gráfica donde se muestra la distribución temporal de la intensidad de lluvia en un periodo determinado. Una manera de obtener esta distribución es mediante el uso de las curvas IDF. Dentro de ellas, el Método del Bloque Alterno se destaca como una opción sencilla, y su cálculo se lleva a cabo de la siguiente forma.

a) Método del bloque alternativo

Es una técnica empleada en hidrología para generar hietogramas mediante el uso de curvas de duración-frecuencia. El resultado obtenido con esta técnica es un hietograma de diseño donde se distribuye la precipitación total en n intervalos sucesivos de tiempo, cada uno con una duración de Δt , a lo largo de un período total determinado. Posteriormente, se

calcula la intensidad de precipitación para cada intervalo utilizando la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) correspondiente a cada duración específica:

$$P = I \times D \quad (30)$$

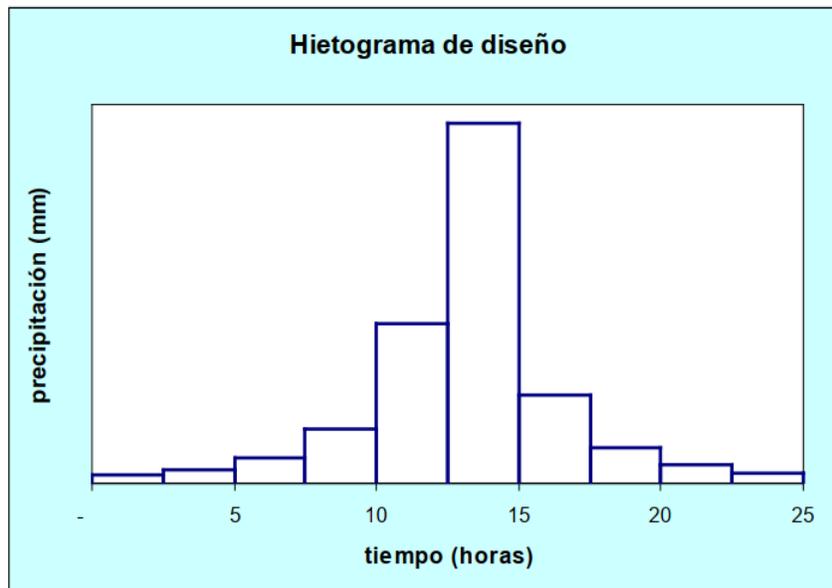
P = Precipitación acumulada (mm)

I = intensidad (mm/hora)

D = duración (horas)

Luego, al calcular la diferencia entre dos valores consecutivos de precipitación acumulada, se determina la cantidad de precipitación que debe agregarse en cada unidad de tiempo adicional. Finalmente, los bloques se reordenan en una secuencia temporal, de manera que la intensidad máxima se ubica en el centro del período deseado, mientras que los demás bloques se organizan en orden descendente, alternando hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central.

Figura 7: *Modelo de Hietograma de Diseño*



2.2.11. Determinación de caudales máximos

Según (Carías, B. et al. 2004), Existen enfoques tanto hidrometeorológicos como estadísticos para la estimación de caudales máximos. Entre los métodos hidrometeorológicos que sobresalen son el Método Racional, método de hidrograma Unitario Complejos y Sintéticos

(como los de Snyder, Triangular y SCS). Por otro lado, las metodologías estadísticas utilizadas incluyen los métodos puntuales y regionales.

2.2.11.1.Método SCS

Según (Francisco, N. et al. (2010), calcula el escurrimiento medio (Q) en función de la precipitación y la retención máxima potencial (R), usando los valores de las curvas numéricas.

A continuación, se presentan valores para determinar Q y R:

$$Q = \frac{(P-0.2R)^2}{P+0.8R} \quad (33)$$

Q = escurrimiento medio de cada evento (mm)

P = precipitación efectiva de cada evento (mm)

R = retención máxima potencial (mm)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (34)$$

Donde: CN = curva numérica

2.2.11.1.1. Número de curva

Según (Pacheco, R. et al. 2018), es un parámetro hidrológico de una cuenca o área específica que refleja el potencial de generación de escurrimiento cuando los suelos no están congelados. De este modo, un valor alto de NC generará un mayor escurrimiento y, en cambio, un valor bajo resultará en menos escurrimiento.

(Estrada, Y. & Rojas, D. 2013) sostiene que, para reproducir un evento de inundación relacionado con una tormenta utilizando el software HEC-HMS, es fundamental determinar el número de curva (CN) según los usos del suelo y las clases hidrológicas del mismo.

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Tabla 12 CN o número de curva para diferentes usos de suelo

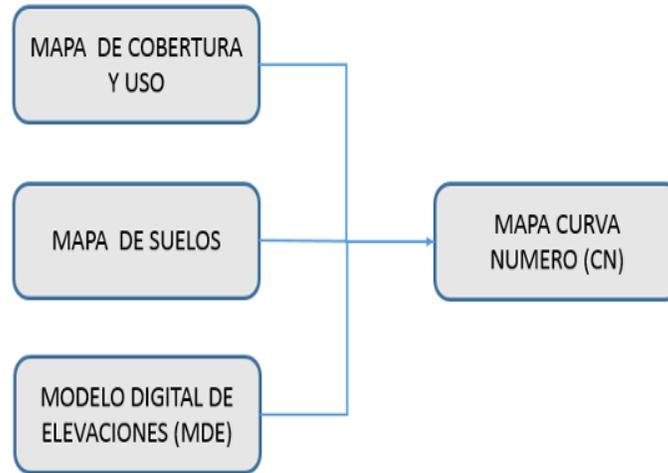
DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: (Chow, V. et al. 1994)

2.2.11.1.2. Determinación del número curva

Según (Pacheco, R. et al. 2018), para calcular el parámetro del número de curva en un entorno SIG, es necesario contar con información gráfica de la zona de estudio. Esta información incluye mapas temáticos sobre el tipo y uso del suelo, así como las características de la cuenca, como su red de drenaje.

Figura 8: Mapa conceptual para la determinación del número de curva



Nos indica el número de reclasificación de acuerdo al tipo de cobertura:

Tabla 13 Descripción de cobertura y reclasificación

DESCRIPCION DE COBERTURAS	RECLASIFICACION
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frio	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

También se proporciona el grupo hidrológico según el tipo de Suelo:

Tabla 14 Mapa de suelo y su reclasificación

<i>DESCRIPCION DE SUELOS</i>	<i>SIMBOLOGIA</i>	<i>GRUPO HIDROLOGICO</i>
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico - Cambisol dístico	GLd-CMd	B
Gleysol dístico - Histosol fibrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico - Lixisol háplico - Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístico - Regosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B

Lixisol háplico - Gleysol dístico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx-CMe	C
Regosol dístico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístico - Cambisol dístico	RGd-CMd	C
Regosol éútrico - Andosol mólico	RGe-ANm	C
Regosol éútrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éútrico - Cambisol éútrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éútrico	SCh-LPe	A

Tabla 15 Numero de curva según su grupo Hidrológico

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frio	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromorfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrofítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

2.2.12. Software para cálculos hidrológicos

2.2.12.1. Hidroesta 2

Según (Villón, M. 2012), Es una herramienta integral para la planificación y gestión de recursos hídricos, facilitando la toma de decisiones en la prevención y en el diseño de infraestructuras hidráulicas óptimas y resilientes.

Asimismo, se puede realizar el análisis de una tormenta y calcular las intensidades máximas a partir de datos de pluviogramas, así como determinar la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno específicos, utilizando la data de intensidades máximas.

Figura 9: *Software HidroEsta 2*



Fuente: (Villón, M. 2012)

2.2.12.2. HEC-HMS

Según (Chimborazo, J. 2019) es un software libre de simulación hidrológica de tipo evento, lineal y semi distribuido, creado por el Centro de Ingeniería de la Armada de Estados Unidos con el objetivo de llevar a cabo simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de sucesos o de manera constante.

(Cotrado, N. 2022) menciona que HEC-HMS simula la respuesta hidrológica de una cuenca utilizando varios componentes clave, entre los que se incluyen modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. En una simulación, el modelo de cuenca calcula la transformación de la precipitación en caudal, utilizando las entradas proporcionadas por el modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el período de tiempo de la simulación y el intervalo temporal de cálculo. Además, los componentes de entrada, tales como series temporales, tablas y datos por celdas, son necesarios como parámetros o condiciones de contorno tanto para el modelo de la cuenca como para el modelo meteorológico.

2.2.12.2.1. Modelamiento hidrológico con Hec - Hms

Para (Estrada, Y.& Rojas, D. 2013), Se refiere a la respuesta del caudal líquido ante una lluvia neta unitaria, que afecta simultáneamente al drenaje con una intensidad constante durante un período de tiempo determinado.

Asimismo, (López, J. et al. 2012) afirma que es un modelo de acceso libre y disponibilidad ampliamente utilizado en el ámbito profesional, útil para el diseño y administración de estructuras de agua; para la evaluación de recursos de agua y para la definición de áreas de inundación.

Además, (López, J. et al. 2012) propone que, de los diversos métodos disponibles en el software HEC-HMS, el más recomendable es el método del hidrograma unitario, además se debe elegir en este el HU adimensional del SCS debido a su simplicidad y su amplia aplicación en numerosos casos.

$$Q_m = \frac{2.08A}{T_p} \quad (37)$$

Donde: Q_m = Caudal máximo m^3/s

A = Área de la cuenca en km^2

T_p = Tiempo al máximo en horas

$$T_p = \frac{T_y}{2} + T_l \quad (38)$$

Donde: T_y = tiempo que dura la lluvia

T_l = tiempo de desfase de la cuenca

$$T_l = \frac{L^{0.8}(2.540 - 22.86 CN)^{0.7}}{14.104 CN^{0.7} I^{0.5}} \quad (39)$$

Donde: L = es la longitud hidráulica en metros

I = es la pendiente media de la cuenca en m/m

CN = número de curva medio de la cuenca

De acuerdo con este método, el lag time (intervalo de tiempo en que ocurre una precipitación y el momento en que se observa la salida del máximo caudal en una cuenca) es aproximadamente igual a 0,6 veces el tiempo de concentración.

2.2.13. Modelamiento hidráulico

Según (García, J. & Chocat, B. 2009) son instrumentos fundamentales para la planificación, el análisis y la aplicación técnica en la ingeniería contemporánea. Comprende dos elementos clave para la predicción de un modelo, tal como sucede con el modelado hidráulico: siendo ellas las variables de entrada y los parámetros de control.

Asimismo, para (Mori, M. 2007), nos proporcionan una perspectiva para examinar la correlación entre el remieve del cauce y las cantidades de agua llevadas. Este estudio posibilita establecer los niveles de agua más altos, las zonas de inundación, las velocidades y otros factores, para eventos de máximas avenidas y para varios periodos de retorno.

2.2.14. Tipos de flujo

➤ Flujo permanente

Es un flujo en el que las características como la velocidad (V), el caudal (Q) y la profundidad (h) se mantienen constantes a lo largo del tiempo, es decir, no dependen del tiempo.

➤ Flujo transitorio o no permanente

En este flujo se presenta variaciones en sus propiedades en el tiempo, es decir, sus características cambian conforme avanza el tiempo.

➤ **Flujo uniforme**

Se llama así este tipo de flujo si su calado o tirante es el mismo en todas las secciones.

➤ **Flujo variado**

Se llama si debido que el calado o profundidad del cauce varia en el transcurso del tiempo y además puede ser continuo o no continuo. El flujo variado puede clasificarse en:

- Rápidamente variado: La profundidad del agua cambia de manera abrupta a distancias comparativamente cortas.

2.2.15. Gradualmente variado:

La profundidad del agua no cambia de manera abrupta a distancias comparativamente cortas.

2.2.16. Coeficiente de Manning

Según (Fernández, C. et al. 2020), es uno de los indicadores clave para cuantificar de manera precisa el caudal, representando un factor dimensional que representa la rugosidad o la resistencia al flujo causada por las características del rio como vegetación, irregularidad del fondo, paredes, obstrucciones, etc.

Tabla 16: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

TIPO DE CANAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050
	Árboles y arbustos sumergidos	0.040	0.050	0.070	
	Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.				
	D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto	0.025	0.030	0.035
		pastizales bajos	0.030	0.035	0.050
b. áreas cultivadas sin cultivo		0.020	0.030	0.040	
con cultivos		0.030	0.040	0.050	
c. Arbustos y Malezas escasos	0.040	0.060	0.080		
densos	0.070	0.100	0.160		
d. Arboles sauces	0.110	0.150	0.200		
tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050		
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100	

2.2.17. Modelamiento hidráulico

2.2.17.1. Software Iber

Según (Bladé, E. et al. 2014), es “un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios desarrollado a partir de la colaboración del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, del Grupo de Ingeniería Matemática y del Instituto Flumen” (p. 2).

Asimismo, para (Ochoa, S. et al. 2014) “es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación abarca la evaluación de zonas inundables” (p. 86).

También, (Pérez, J. et al. (2018) menciona que: “consta de diferentes módulos: turbulencia, transporte de sedimentos e hidrodinámica, constituyendo este último, la base de la herramienta empleando las ecuaciones de St. Venant 2D de aguas someras resueltas bajo el método de volúmenes finitos” (p. 146).

a) Ecuaciones

Según (Bladé, E. et al. 2014), “el módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento” (p. 2):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0 \quad (40)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U_x^2 + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) \\ & = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U_y^2 + g \frac{h^2}{2} \right) \\ & = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (42)$$

Donde: h = tirante o calado

$U_x U_y$ = son las velocidades horizontales promediadas en profundidad

g = es la aceleración de la gravedad

ρ = es la densidad del agua

ρ = es la densidad del agua

Z_b = es la cota del fondo

τ_s = es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento

τ_b = es la fricción debida al rozamiento del fondo s la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento

ν_t = es la viscosidad turbulenta.

b) Interfaz

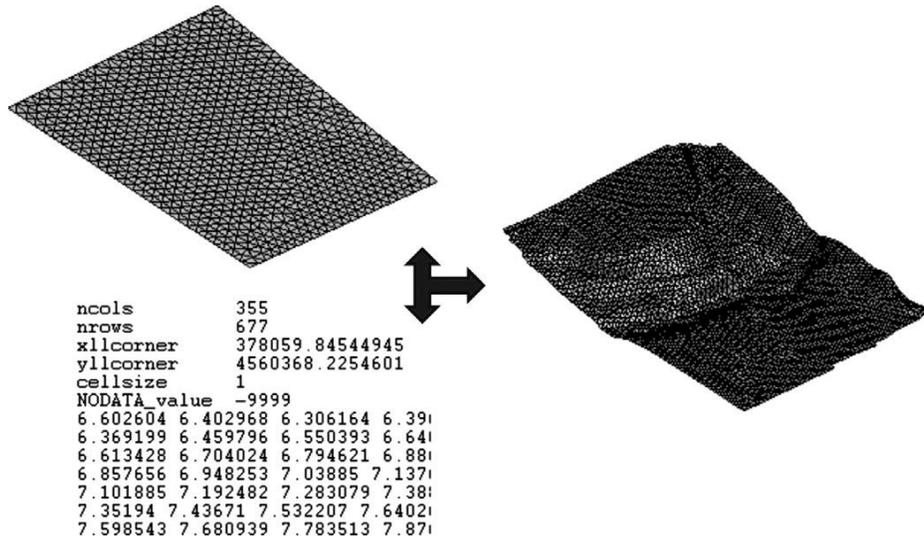
Según (Bladé, E. et al. 2014), (p. 4): La interfaz de Iber está basada en el programa GiD, lo que la convierte en una herramienta flexible y fácil de usar. Uno de los avances clave en el preprocesamiento es la capacidad de importar la rugosidad de Manning asociada a los usos del suelo desde un archivo georreferenciado, además de la asignación automática de esta rugosidad a los elementos de la malla.

Figura 10: Software Iber



Fuente: Centro Internacional de Métodos Numéricos en ingeniería (CIMNE).

Figura 11: Edición de nodos de una malla en Iber

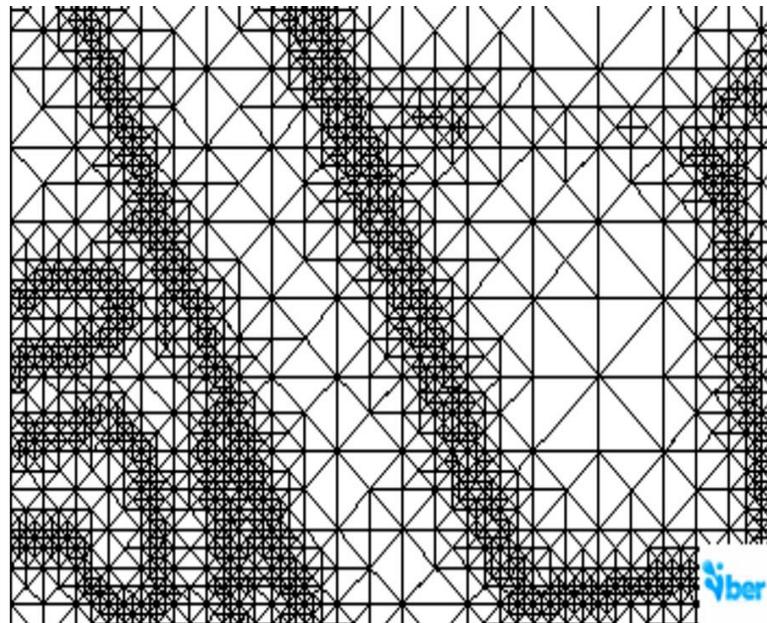


Fuente: (Bladé, E. et al. 2014)

c) Malla para cálculo

Según (Bladé, E. et al. 2014), “uno de los procesos que requieren mayor tiempo y esfuerzo a la hora de desarrollar un estudio de simulación numérica del flujo en ríos es la generación de la malla de cálculo” (p. 4):

Figura 12: Malla para cálculo

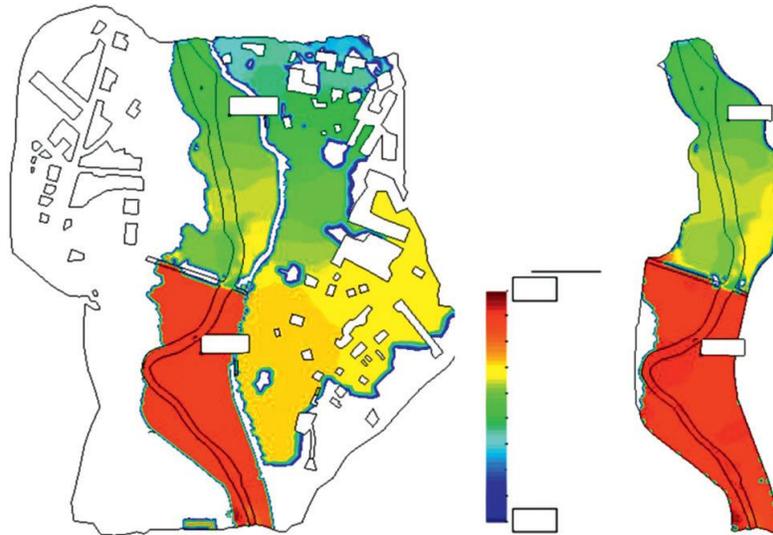


Fuente: (Bladé, E. et al. 2014)

d) Aplicaciones

Según (Ochoa, S. et al. 2014), el alcance de IBER comprende la hidrodinámica de los ríos, la simulación de la ruptura de presas, la valoración de áreas propensas a inundaciones, el cálculo del traslado de sedimentos y la circulación de mareas en estuarios.

Figura 13: *Propagación de inundación y el calado de la lámina de agua*



Fuente: (Bladé, E. et al. 2014)

2.2.18. Inundaciones

Las inundaciones son un fenómeno, ya sea natural o provocado por el ser humano, donde el agua cubre zonas que están por encima de su nivel. Este evento puede ser originado por diversos factores, y existen distintos tipos de inundaciones que se clasifican según sus causas y características.

Inundación fluvial o riverina: Sucede cuando los ríos o arroyos se desbordan debido a lluvias intensas o prolongadas, lo que hace que el caudal de agua supere la capacidad del cauce del río. Este tipo de inundación es común en áreas cercanas a cuerpos de agua.

Inundación pluvial o urbana: Se da cuando las precipitaciones son tan fuertes que el sistema de drenaje urbano no puede evacuar el agua con suficiente rapidez, lo que provoca la acumulación de agua en las calles y otras zonas urbanas. Es frecuente en ciudades con infraestructuras insuficientes o mal diseñadas para manejar grandes volúmenes de lluvia.

Inundación costera: Ocurre cuando el nivel del mar aumenta debido a tormentas, mareas altas o tsunamis, inundando las áreas bajas cercanas a la costa.

Inundación por desbordamiento de embalses o presas: Tiene lugar cuando una presa o embalse se desborda como consecuencia de lluvias excesivas o fallos en la infraestructura, liberando grandes cantidades de agua hacia las zonas circundantes.

2.2.18.1. Peligrosidad

La determinación del nivel de intensidad del riesgo depende del tipo de inundación: en el caso de las inundaciones estáticas, se toma en cuenta la profundidad o altura del flujo, mientras que en las inundaciones dinámicas se sugiere utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo. (INDECI, 2011).

Tabla 19: *Matriz de peligrosidad*

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad. del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	$H > 1.5 \text{ m}$	$H*V > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < H*V < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$	$0.25 \text{ m} < H*V < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$	$H*V < 0.25 \text{ m}$

Fuente: INDECI (2011)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ubicación

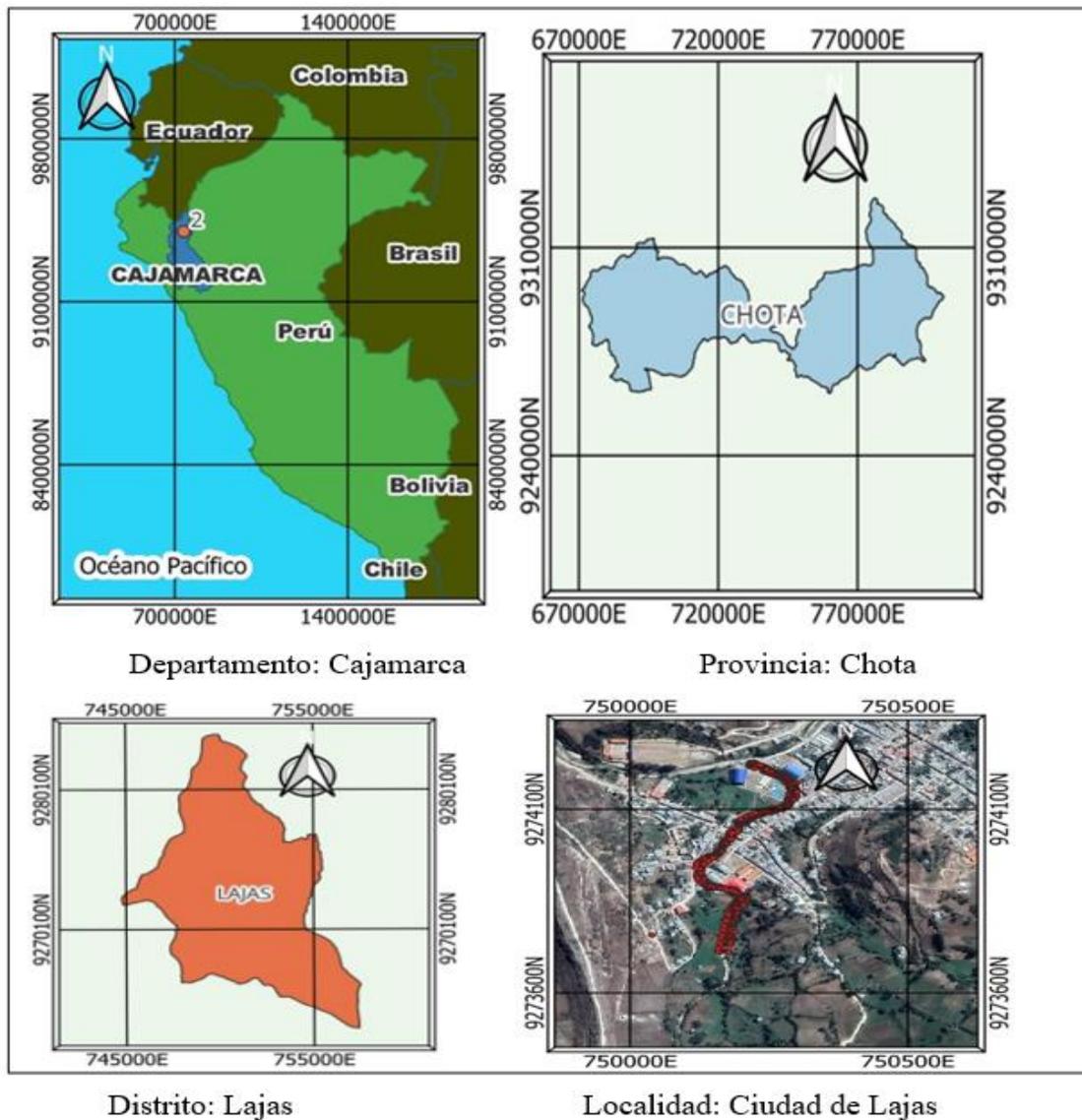
Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Chota

Localidad : Lajas

Figura 14: *Ubicación de la ciudad de Lajas*



3.2. Materiales

3.2.1. Información Meteorológica

El río Jalqueño pertenece a la región hidrográfica del Chamaya, su código es 106084 asignado por la Autoridad Nacional del Agua. Dentro de esta se encuentran varias estaciones, siendo la estación meteorológica Chotano Lajas la más relevante para la presente investigación ya que se encuentra dentro de cuenca delimitada.

Tabla 17: Estación Chotano Lajas (Código 106084)

Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología
WGS 84 Geográficas	UTM WGS84 17S 750035.00 m E, 9274088.00 m S, a 2163 msnm
Tipo:	Convencional / Climática
Ámbito Político	Dpto: Cajamarca / Prov: Cajamarca / Dist.: Lajas
Ámbito Administrativo	AAA: Marañón / ALA: Chotano-Llaucano
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Chamaya

La estación meteorológica ha registrado datos de precipitación obteniendo para este estudio desde 1979 hasta el año 2023, siendo las precipitaciones máximas en 24 horas de dicha estación las siguientes:

Tabla 21: Precipitaciones máximas en 24 horas de la Estación Chotano Lajas

DIRECCIÓN ZONAL 2 SENAMHI LAMBAYEQUE												
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA CHOTANO LAJAS												
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN (mm), Máxima mensual												
PERIODO: 1990-2023												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1990	24.5	14.0	9.2	18.8	22.2	5.2	3.2	10.7	1.7	43.3	16.9	10.2
1991	3.0	31.1	22.7	33.9	4.5	3.2	17.6	0.0	13.2	10.9	12.8	23.1
1992	14.3	32.2	18.7	37.8	13.0	11.8	14.6	6.5	28.1	26.2	14.5	7.7
1993	17.1	SD	20.9	13.0	14.2	6.8	5.2	SD	18.1	25.2	19.2	25.8
1994	20.3	23.3	26.6	19.3	16.0	13.8	2.4	0.0	31.8	7.9	22.0	17.6

1995	6.5	21.6	38.1	21.2	15.2	3.0	19.3	20.7	15.2	20.2	9.1	17.5
1996	19.3	22.7	20.5	17.9	10.0	15.0	2.1	10.4	21.7	31.1	17.5	5.8
1997	10.7	28.6	23.0	25.5	6.1	10.7	0.4	0.3	6.6	14.5	14.2	48.3
1998	28.1	28.6	36.8	63.4	28.2	0.3	5.1	16.6	18.5	29.1	19.2	69.1
1999	32.0	32.4	37.2	15.0	7.8	41.4	9.0	8.1	27.7	53.3	16.7	19.2
2000	18.7	18.6	17.0	35.4	24.5	27.5	0.9	13.0	7.7	3.3	9.0	29.1
2001	22.7	11.8	36.5	42.5	27.1	1.7	6.9	0.0	20.0	21.0	15.0	16.5
2002	20.9	35.5	26.6	24.2	24.0	1.9	3.0	1.3	11.7	24.3	24.2	39.5
2003	32.5	27.9	26.0	32.6	9.6	29.1	4.5	4.3	17.5	18.6	21.1	27.4
2004	26.2	18.0	27.0	17.6	43.3	0.8	14.7	1.2	29.0	18.8	27.7	19.3
2005	7.5	22.1	37.5	25.0	4.0	13.6	1.4	5.2	28.5	22.2	29.6	15.8
2006	29.6	36.2	42.4	30.3	1.2	9.2	13.6	10.1	37.1	18.4	32.4	26.7
2007	25.3	11.2	SD	34.4	25.2	0.0	4.7	12.2	12.3	41.2	32.7	12.9
2008	49.0	35.0	20.4	11.8	12.7	10.8	2.6	17.6	35.5	43.4	26.2	8.2
2009	24.0	20.1	43.9	29.9	23.2	15.6	1.4	4.1	36.2	26.4	54.1	27.2
2010	15.1	57.7	34.2	33.5	13.5	10.3	16.9	12.4	19.4	20.0	8.6	13.1
2011	12.3	20.2	19.8	14.3	19.5	0.8	8.2	3.4	17.8	11.8	11.6	28.8
2012	26.7	48.5	36.4	47.6	18.9	0.6	4.8	0.6	15.8	23.1	31.4	35.7
2013	50.4	14.6	25.7	18.4	36.1	5.9	18.8	17.6	6.0	17.8	5.7	10.3
2014	16.6	22.1	24.1	16.8	34.6	3.1	8.7	11.9	11.1	17.7	40.0	16.5
2015	35.0	18.0	31.4	19.0	30.8	16.7	3.2	2.5	3.5	41.1	37.4	19.7
2016	20.3	32.4	37.5	31.5	19.6	29.4	0.0	0.0	26.7	15.8	16.8	17.0
2017	29.2	18.7	41.8	22.2	23.3	25.4	0.0	33.4	14.0	24.4	32.0	18.0
2018	34.4	40.0	20.0	38.0	19.5	5.8	0.0	0.0	32.0	35.7	46.5	12.4
2019	16.7	41.1	18.9	48.8	41.9	5.1	6.5	0.0	16.4	21.8	16.0	27.0
2020	6.7	25.5	23.6	44.0	18.1	21.4	27.9	5.5	21.9	34.5	34.8	59.5
2021	25.3	41.9	40.9	25.6	24.8	26.2	5.1	16.5	7.1	57.7	52.2	23.7
2022	16.0	34.6	51.0	18.0	25.7	13.8	13.7	22.4	13.4	12.2	7.8	25.4
2023	25.3	18.0	23.8	41.9	14.0	25.4	11.3	6.9	7.9	21.4	44.6	33.0

Fuente: (SENAMHI DZ - 2)

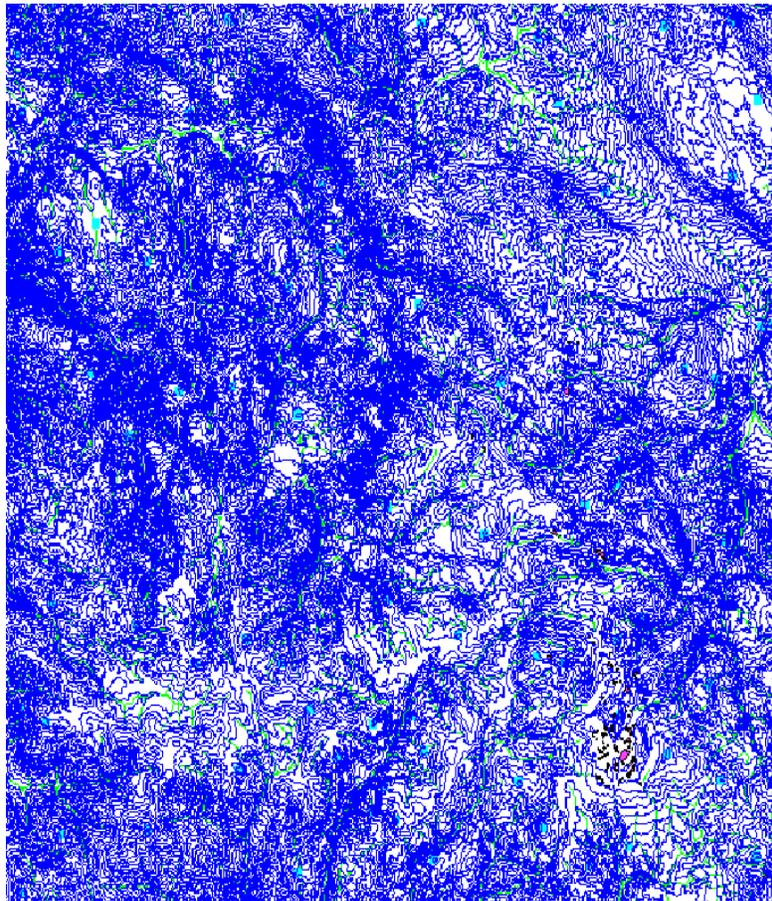
3.2.2. Información Cartográfica

La fuente principal de mapas en el Perú son las cartas nacionales, las cuales se pueden obtener de forma gratuita desde la página web de GEO GPS PERU (<https://www.geogpsperu.com/>). Seguidamente llevo a cabo la localización del río Jalqueño y la

ciudad de lajas en estas cartas son el fin de obtener las curvas de nivel y así reunir la información necesaria para la investigación actual.

Se identifico que el área de estudio se encuentra en la carta nacional 14f de la zona 17 S, la cual está disponible en formato SHP, por lo que se requiere el uso del software arcgis para su visualización, tal como se muestra a continuación:

Figura 15: *Curvas de nivel de la carta nacional 14f*



Fuente: Geo Gps Perú

3.2.3. Información Topográfica

Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio utilizando el equipo topográfico GPS Diferencial TRIMBLE R12I, lo que facilitó la obtención de los puntos COGO indispensables para generar el modelo digital de terreno o elevaciones del sector, con una mayor precisión que la información obtenida en las cartas nacionales.

3.2.4. Equipos utilizados

Tabla 18 *Equipos usados*

Equipo	Imagen
GPS Diferencial Trimble R12I	
Dron MAVIC 2	
Laptop DELL G5 15 Corel i7	
Cámara fotográfica	

3.2.5. Softwares

Los softwares usados en la presente investigación son:

- Software Microsoft Word 2019
- Mendeley Reference Manager 2.88.0
- Microsoft Excel 2021
- Software Foxit Reader 9.7.1

- Software Civil 3D AutoCAD
- Software Google Earth Pro 7.3.6
- Software ArcGIS 10.5
- Software HIDROESTA 2
- Software HEC-HMS 4.10
- Software IBER 3.2.2

3.3.Procedimiento

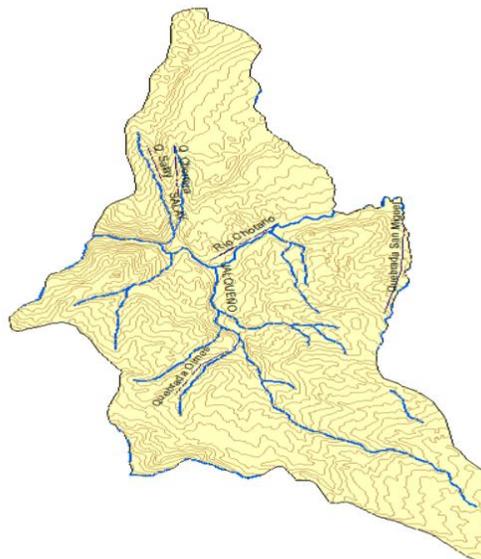
3.3.1. Delimitación de la cuenca

Para definir los límites de la cuenca del río Jalqueño, se usó la información de la carta 14f, que contiene el shapefile de curvas de nivel, ríos y quebradas. Asimismo, se empleó el software ArcGIS para identificar la divisoria de las aguas desde un punto de emisión.

El punto de emisión de la cuenca del río Jalqueño se localizó en las coordenadas E 750214.84; S 9274227.90, en la ciudad de Lajas, en el punto donde el río Jalqueño desemboca en el río Chotano.

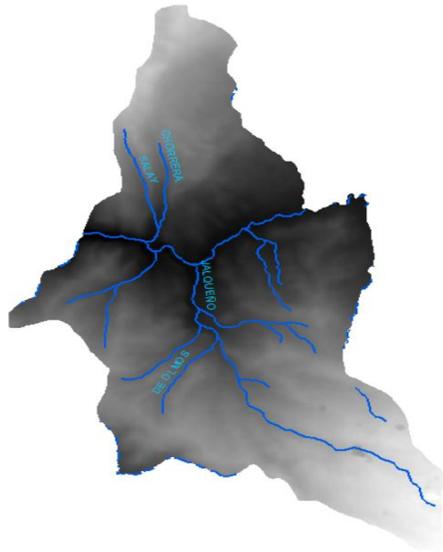
En primer lugar, se fusionaron los mapas de curvas de nivel con los ríos y quebradas, los cuales estaban delimitados por los límites distritales.

Figura 16 Rios , quebradas y curvas de nivel en el distrito de Lajas



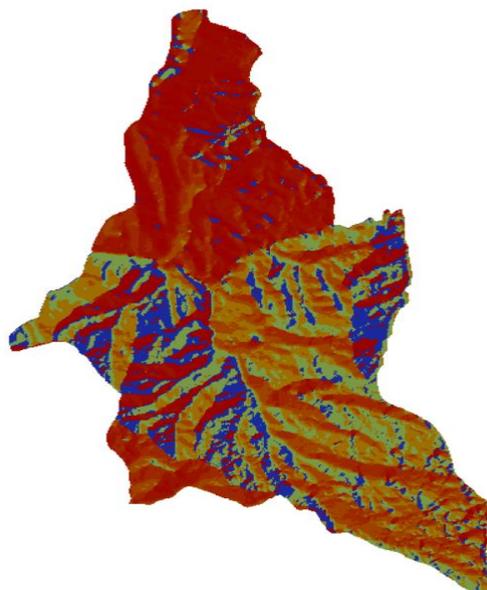
Seguidamente, se utilizó la herramienta Topo toRaster en el software Arc Gis para generar el DEM, resultando:

Figura 17: DEM del distrito de Lajas



Luego, con la herramienta Flow Direction en el software Arc Gis se determinaron las direcciones de flujo del ráster para el DEM.

Figura 18 Flow Direction del distrito de Lajas



Una vez obtenidas las direcciones de flujo, es necesario calcular las acumulaciones de las mismas, lo cual se logra mediante la herramienta Flow Accumulation del software ArcGIS.

Figura 19 *Flow Accumulation del distrito de Lajas*



Por último, se localiza el punto emisor y con la ayuda de la herramienta Watershed del software ArcGis se delimito la cuenca del Rio Jalqueño:

Figura 20 *Cuenca del Rio Jalqueño*



Figura 21 TIN de la cuenca del Rio Jalqueño

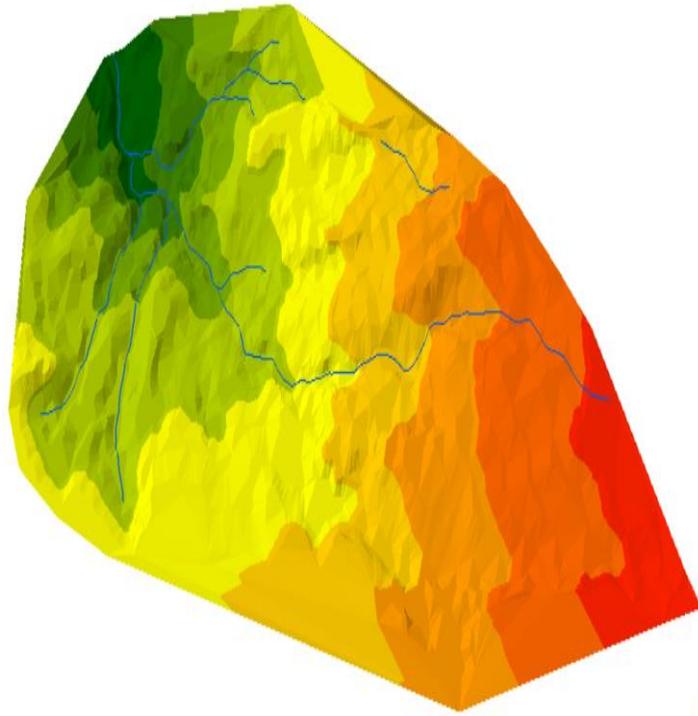
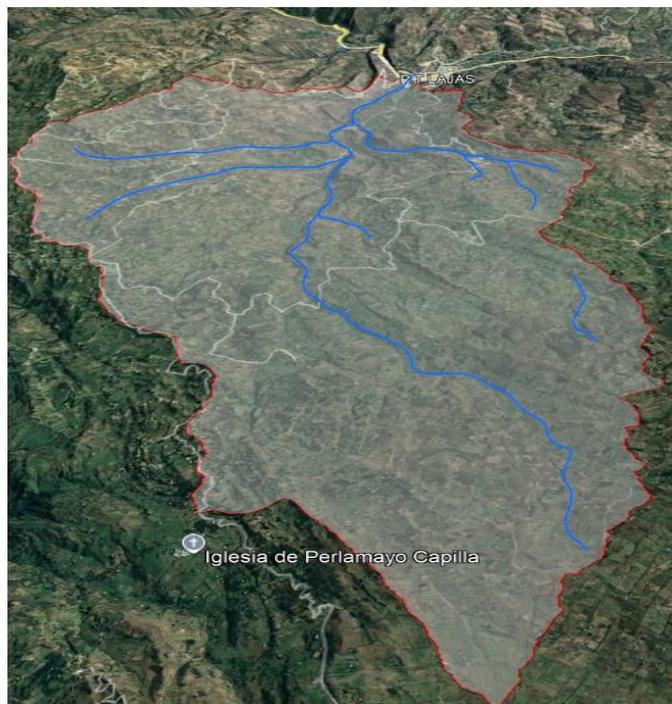


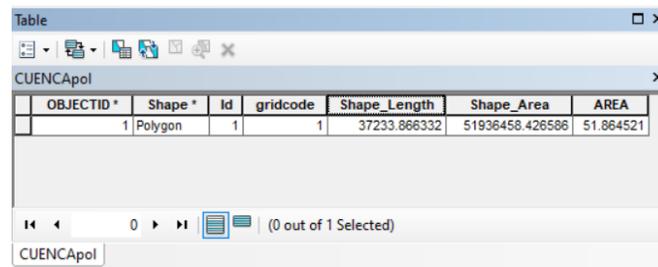
Figura 22 Relieve de la cuenca del Rio Jalqueño



3.3.2. Parámetros de forma de la cuenca

Una vez delimitada la cuenca del río Jalqueño, se calculó los parámetros de forma (área, perímetro) mediante tablas de atributos, en el software Arc Gis:

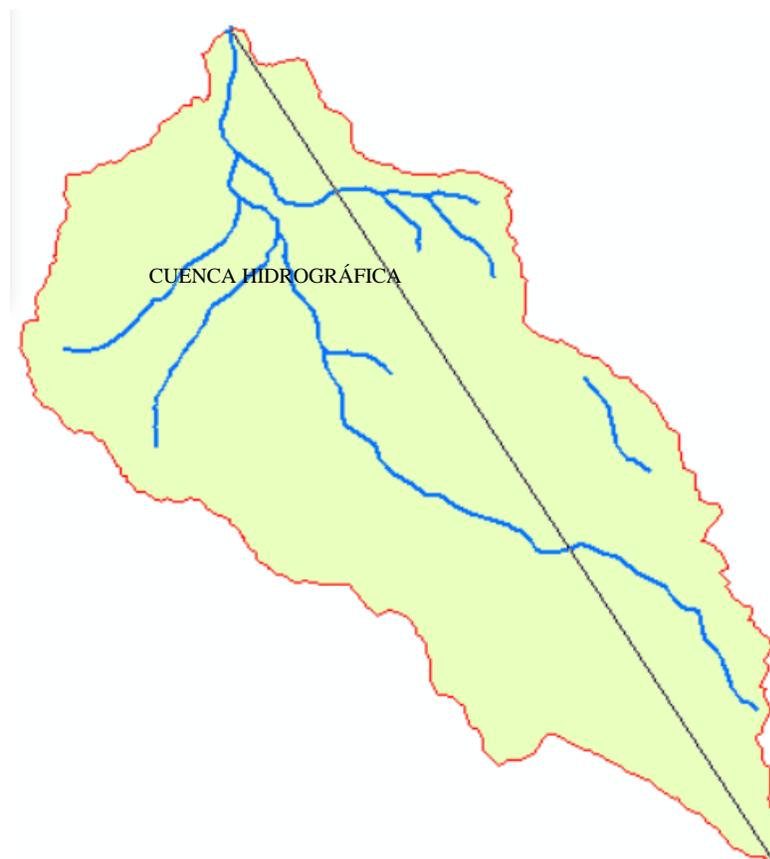
Figura 23 Área y Perímetro en mediante tabla de atributos en Arc gis



OBJECTID *	Shape *	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	AREA
1	Polygon	1	1	37233.866332	51936458.426586	51.864521

Seguidamente se calculó la longitud del cauce de la cuenca del río Jalqueño en Arc Gis por medio de la herramienta Measure.

Figura 24 Longitud de la cuenca del río Jalqueño



Para el cálculo del rectángulo equivalente, se calculó el área entre los intervalos de las curvas de nivel y mediante ArcGIS con la herramienta Reclassify para un total de 6 intervalos se obtuvo:

Figura 25 Áreas para 6 intervalos de curvas de nivel

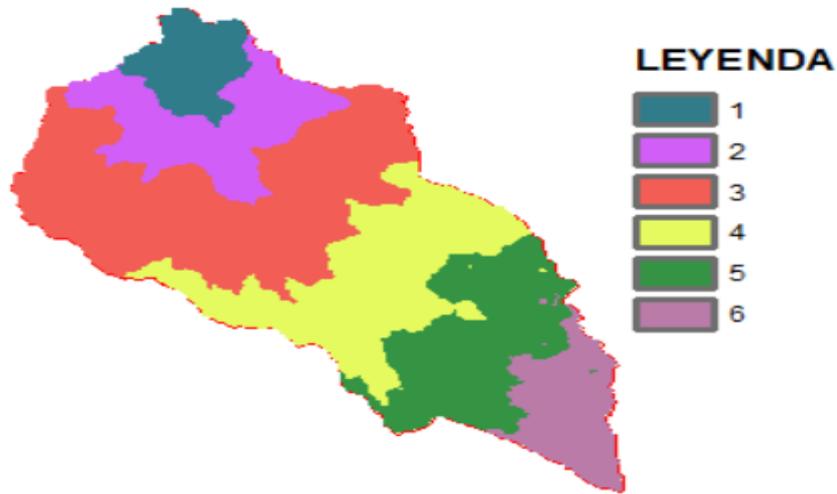


Figura 26 Valores de áreas correspondientes a los intervalos de curvas de nivel

gridcode	Count_gridcode	Sum_Id	Sum_Shape_Length	Sum_AREA_HA
1	1	4	0.080449	3.363106
2	3	8	0.178525	6.801248
3	2	13	0.285323	17.299117
4	4	46	0.257969	11.077508
5	3	47	0.209936	8.765617
6	6	72	0.135093	4.574079

3.3.3. Parámetros de relieve de la cuenca

Respecto al parámetro de relieve de la curva hipsométrica, se calculó las áreas sobre las curvas de nivel con los datos obtenidos para el rectángulo equivalente previamente, y se procedió a graficar dichos valores en un gráfico de Excel:

Figura 27 Curva hipsométrica de la cuenca



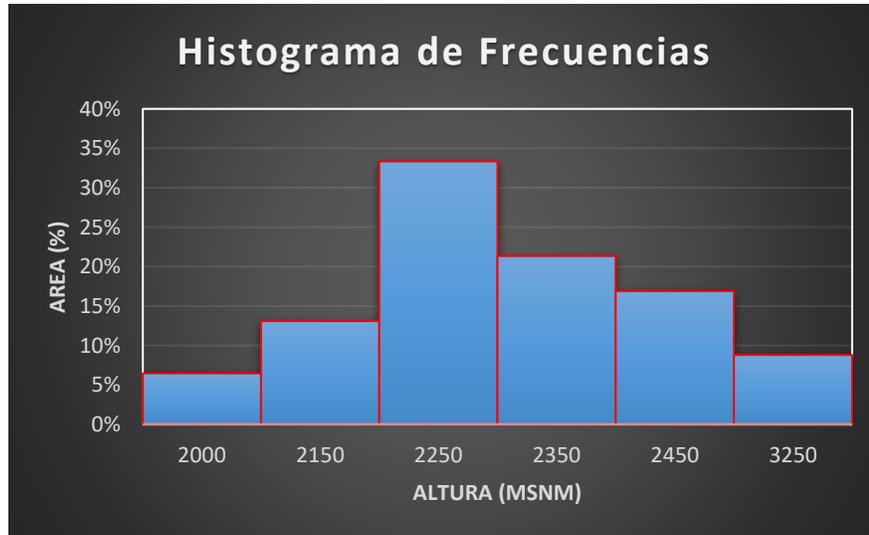
Según el gráfico de la curva Hipsométrica presenta una similitud a la curva C, perteneciente a una cuenca en etapa de Vejez, la característica general de estas cuencas es que el río presenta acumulación de sedimentos en las partes llanas, razón por la cual en épocas de máximas avenidas suele inundar zonas adyacentes a los ríos.

Figura 28 Curvas de nivel en la cuenca del río Jalqueño



Por último, se calculó la altitud media de la cuenca del río Jalqueño mediante la curva hipsométrica, y con los datos obtenidos se procede a graficar la curva de frecuencias:

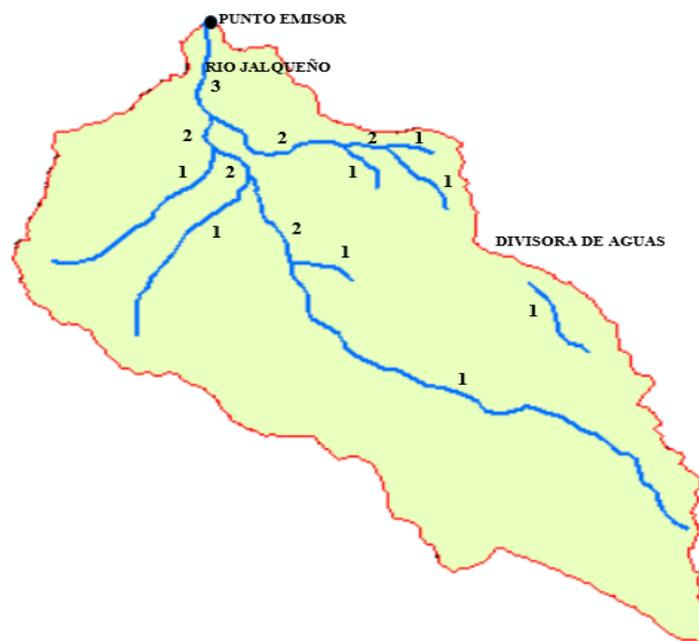
Figura 29 *Histograma de frecuencias de altitudes*



3.3.4. Parámetros de drenaje de la cuenca

Teniendo el número de orden de la cuenca, se identificó los afluentes y se inició a sumar el orden de acuerdo al método de Horton descrito anteriormente:

Figura 30 *Cuenca del río Jalqueño con número de orden de sus afluentes.*



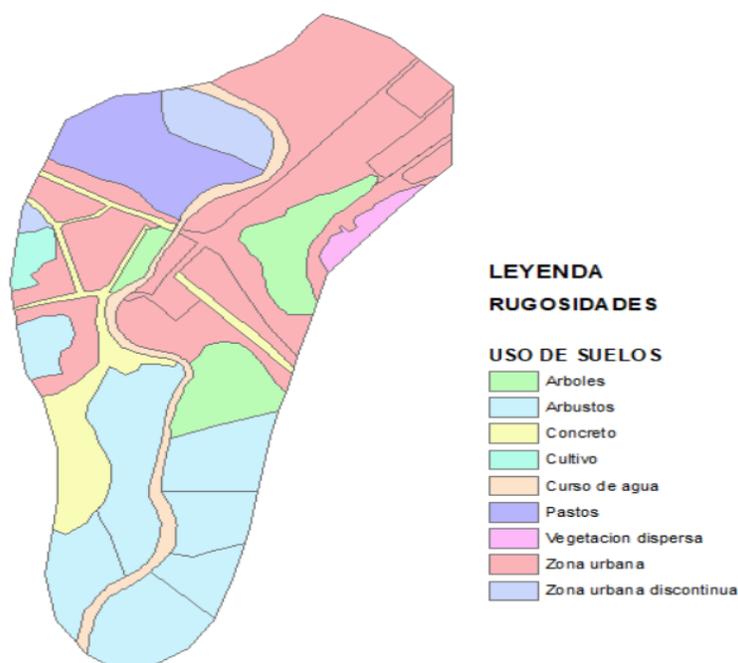
En lo que respecta a los parámetros de bifurcación y densidad de drenaje, se calcularon utilizando las fórmulas 7 y 8, respectivamente, con el apoyo del software Excel.

3.3.5. Caracterización desde el punto de vista fluvial

Para identificar el uso de suelo del desde el punto de vista fluvial en el área de estudio, se utilizaron visitas a campo, además información obtenida de la ortofoto generada por un dron y del sistema de información geográfica (ArcGIS).

Se generó una capa shapefile de rugosidades correspondientes N de Manning en toda el área de estudio mediante el software ArcGIS, seguidamente luego de observar y analizar detalladamente la ortofoto se asignaron los valores de acuerdo con los criterios establecidos por French R. (1988):

Figura 31 Identificación de usos de suelo (Rugosidades)



3.3.6. Identificación de las áreas inundadas

Para identificar y cuantificar el área, el caudal y el periodo de retorno que causaron la inundación del río Jalqueño en el año 2022, se utilizaron como referencia los vestigios de inundaciones observadas en campo, así como las testificaciones de los habitantes del lugar.

Con esta información, se procedió a estimar los valores correspondientes mediante aproximaciones.

3.3.7. Modelamiento Hidrológico

Para el modelamiento se utilizaron las precipitaciones máximas anuales obtenidos del SENAMHI DZ 2 donde pertenece la estación meteorológica Chotano Lajas, debido a su proximidad y la suficiencia de datos en relación con el área de estudio. A los datos se les aplicó la prueba de análisis de outliers o datos dudosos:

- Se calculó el coeficiente de sesgo o asimetría del conjunto de valores de precipitaciones máximas.
- Debido que el coeficiente de sesgo resultó ser 0.48, se paso a verificar los valores atípicos elevados.
- Mediante ecuación N.º 9, se determinó el umbral alto, el cual resultó ser: 75.82 mm.
- Como no existen valores que superan el umbral alto, se prosiguió con el cálculo umbral bajo.
- El cálculo del umbral bajo fue de: 23.98 mm.
- Se verifica que todos los valores de los datos de precipitación se encuentran por encima del umbral bajo, por lo que se concluye que no existen datos dudosos.

Figura 32 Verificación de datos dudosos-umbral bajo y alto

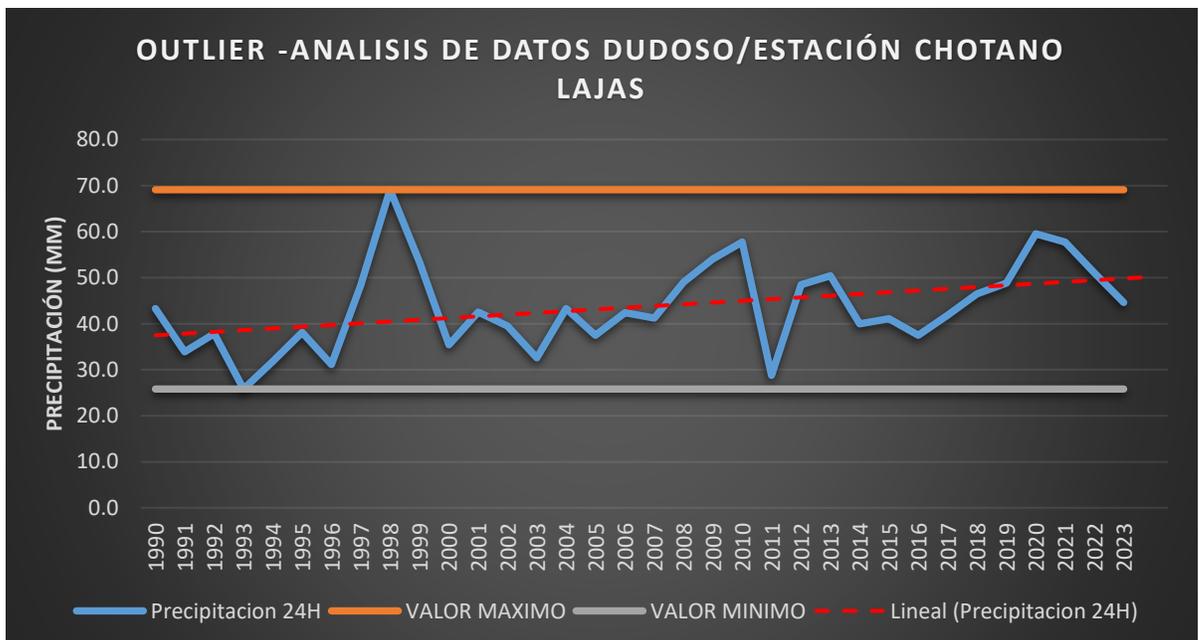


Tabla 19 *Precipitaciones máximas anuales sin datos dudosos – estación Chotano Lajas*

Año	Pmax24
1990	43.30
1991	33.90
1992	37.80
1993	25.80
1994	31.80
1995	38.10
1996	31.10
1997	48.30
1998	69.10
1999	53.30
2000	35.40
2001	42.50
2002	39.50
2003	32.60
2004	43.30
2005	37.50
2006	42.40
2007	41.20
2008	49.00
2009	54.10
2010	57.70
2011	28.80
2012	48.50
2013	50.40
2014	40.00
2015	41.10
2016	37.50
2017	41.80
2018	46.50
2019	48.80

2020	59.50
2021	57.70
2022	51.00
2023	44.60

A estos valores se calcularon sus parámetros estadísticos, y mediante el software HidroEsta 2 se realizó el análisis de frecuencia para las diferentes distribuciones estadísticas teóricas para las precipitaciones máximas anuales.

Figura 33 *Parámetros estadísticos*

Ingreso de datos:

N°	X
1	43.3
2	33.9
3	37.8
4	25.8
5	31.8
6	38.1
7	31.1
8	48.3
9	69.1
10	53.3
11	35.4
12	42.5
13	39.5
14	32.6

Nota:
Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Parámetros	Muestrales	Poblacionales	Momentos Lineales
Media:	43.6152	43.6152	43.6152
Varianza:	94.2682	91.4116	30.5591
Desviación Estándar:	9.7092	9.5609	5.5280
Coefficiente Variación:	0.2226	0.2192	0.1267
Coefficiente de Sesgo:	0.4784	0.4564	0.0878
Coefficiente de Curtosis:	3.3741	2.9715	0.1347

Coeficientes Lineales:

L1: 43.6152
L2: 5.5280
L3: 0.4856
L4: 0.7449

Archivos y resultados: Crear, Accesar, Excel, Reporte

Calcular: Ordenar, Limpiar, Imprimir, Menú Principal

09:51 16/09/2024

Figura 34 Distribución normal

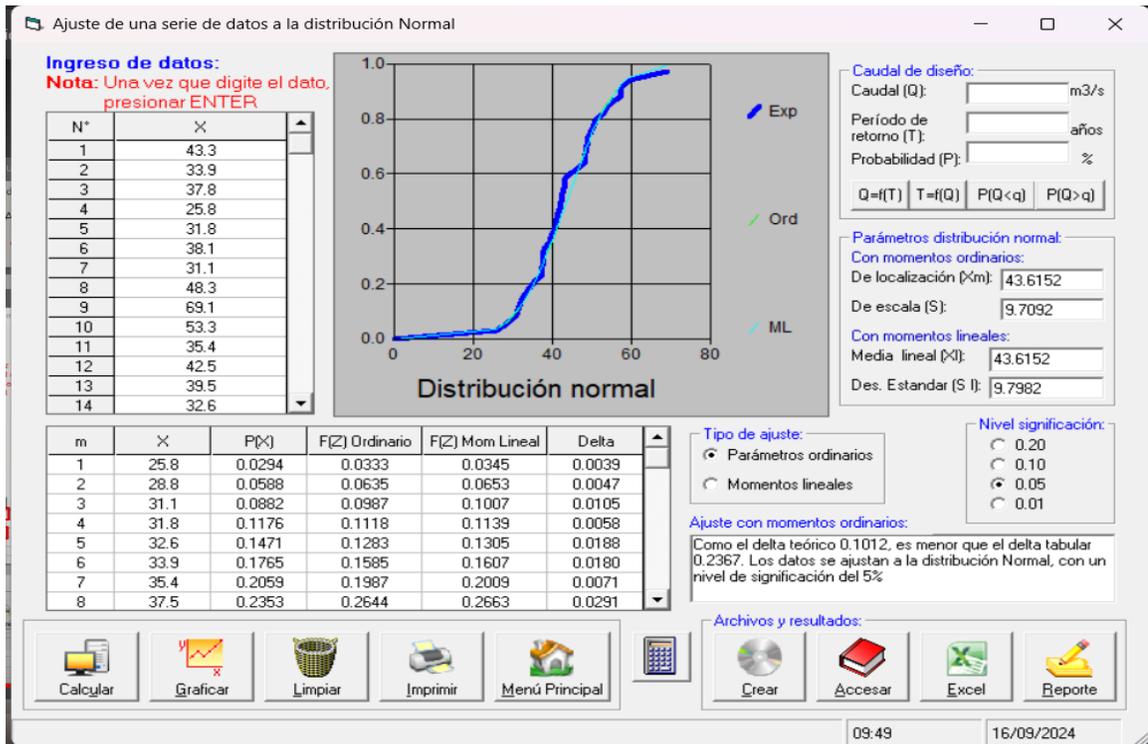


Figura 35 Distribución Log-normal de 2 parámetros

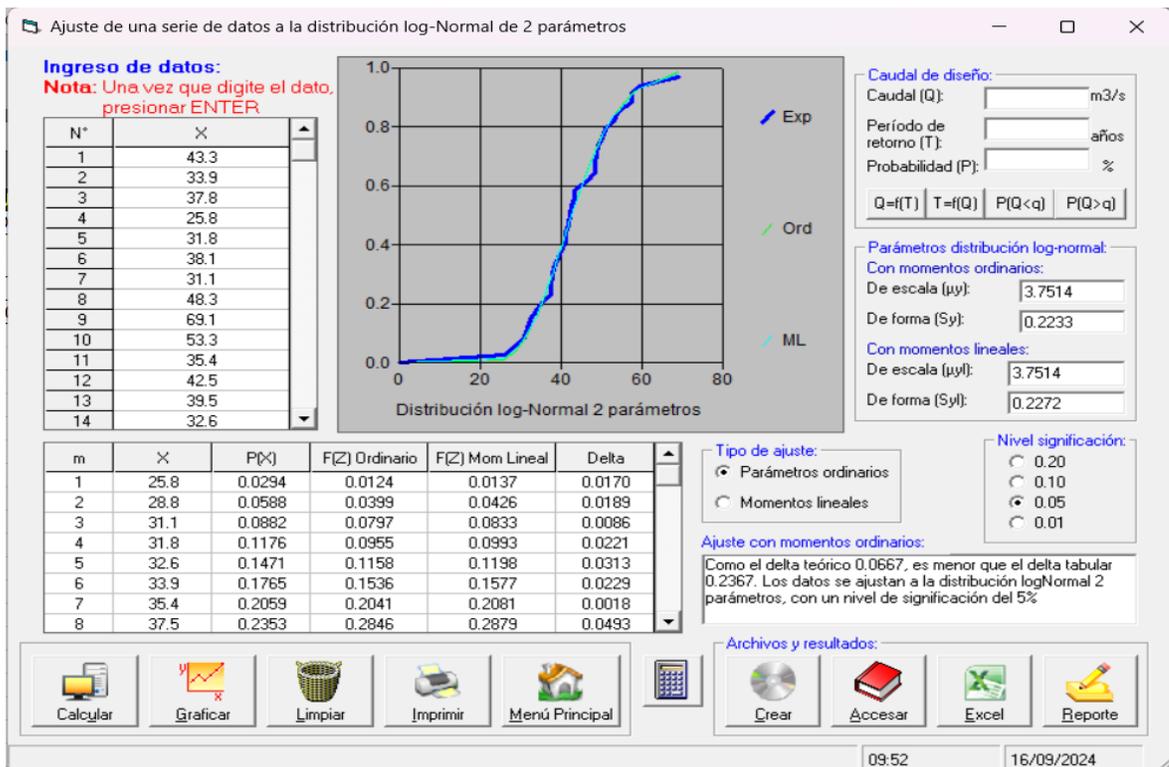


Figura 36 Distribución Log-normal de 3 parámetros

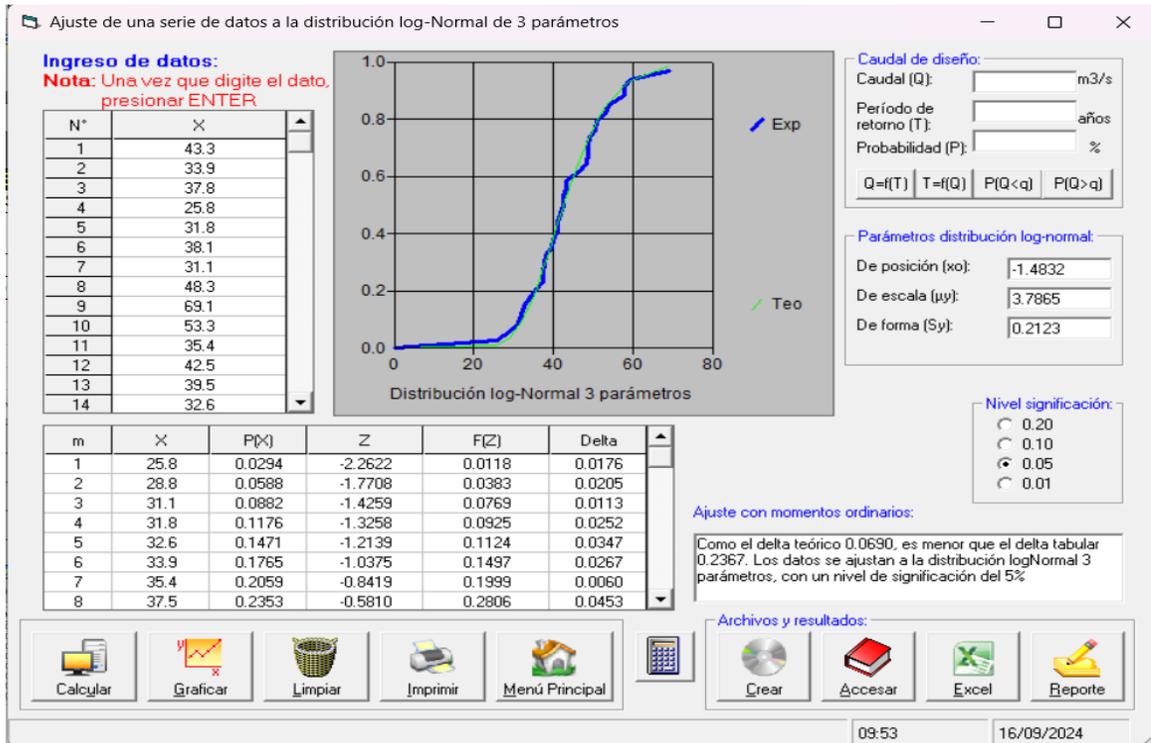


Figura 37 Distribución Gamma de 2 parámetros

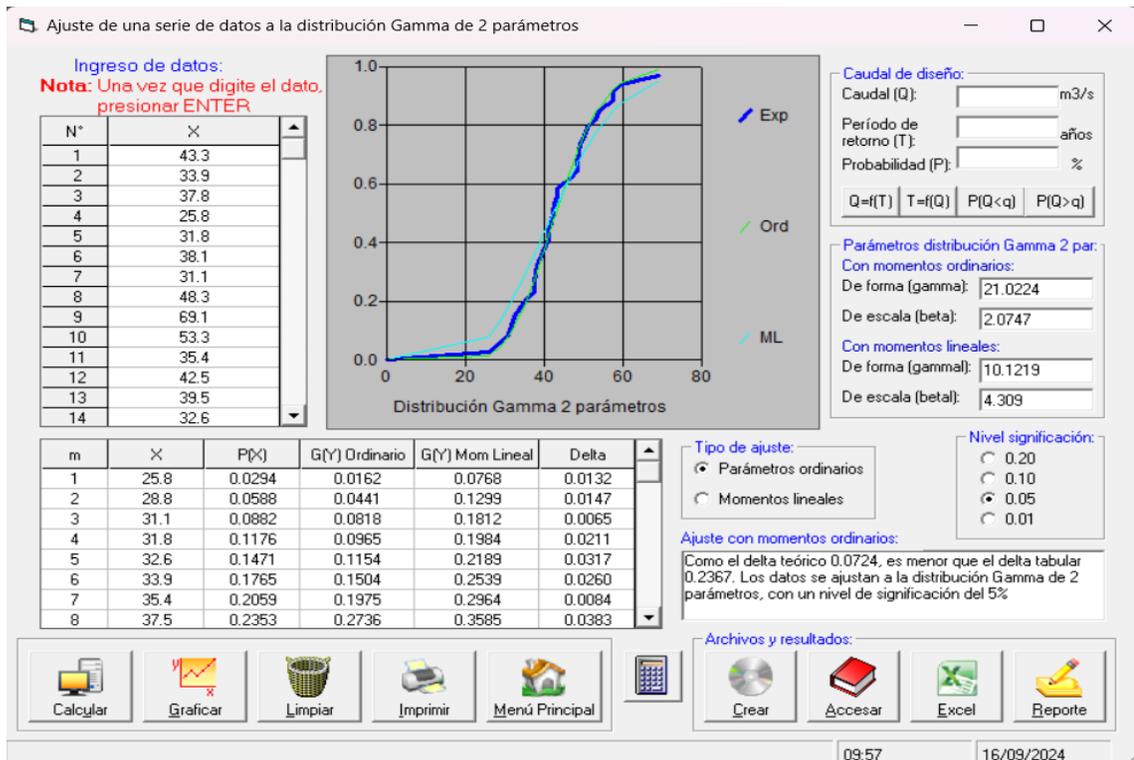


Figura 38 Distribución Gamma de 3 parámetros

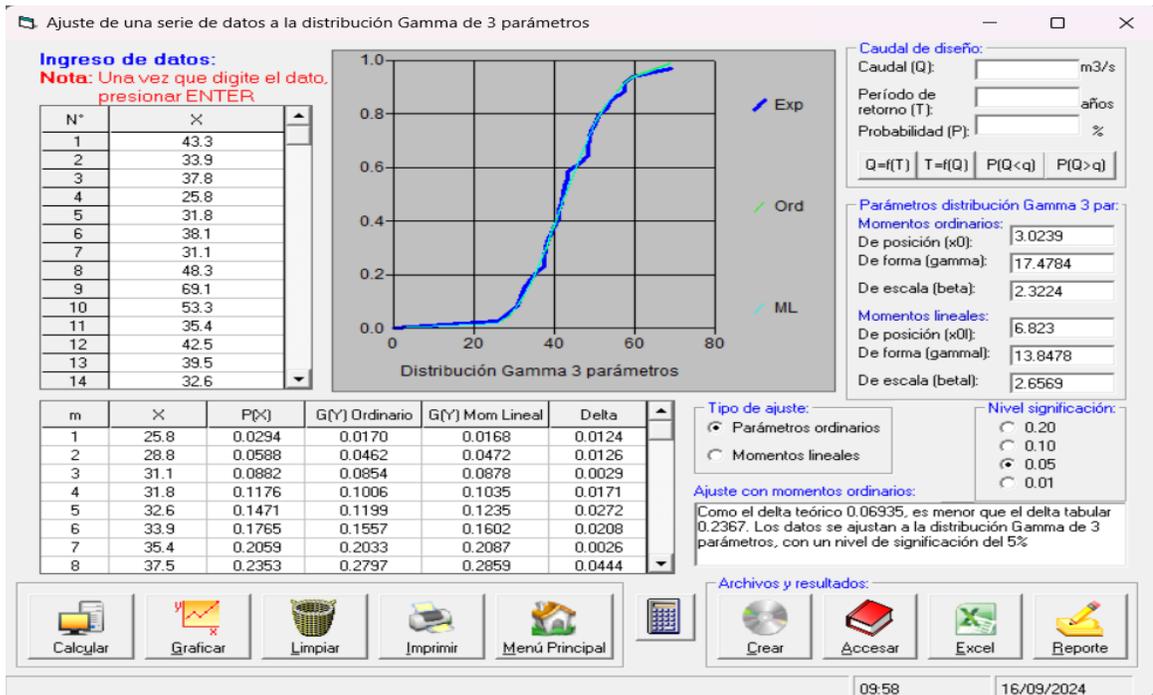


Figura 39 Distribución Gumbel

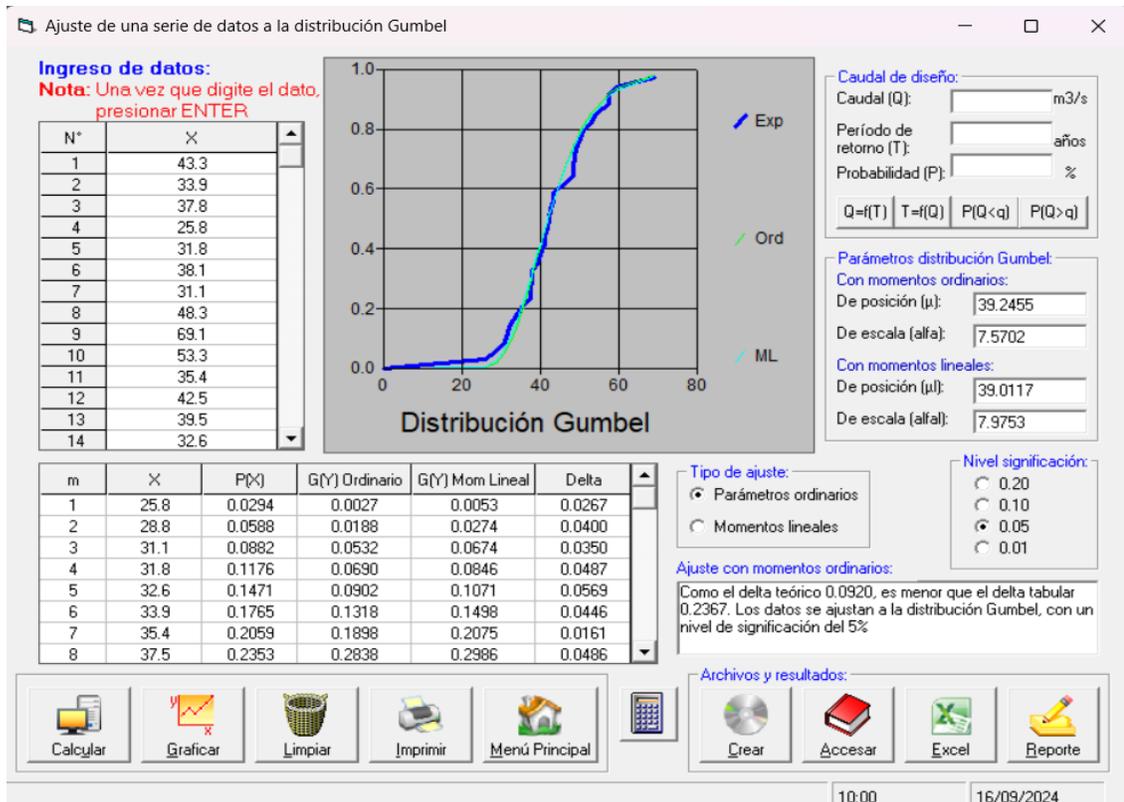
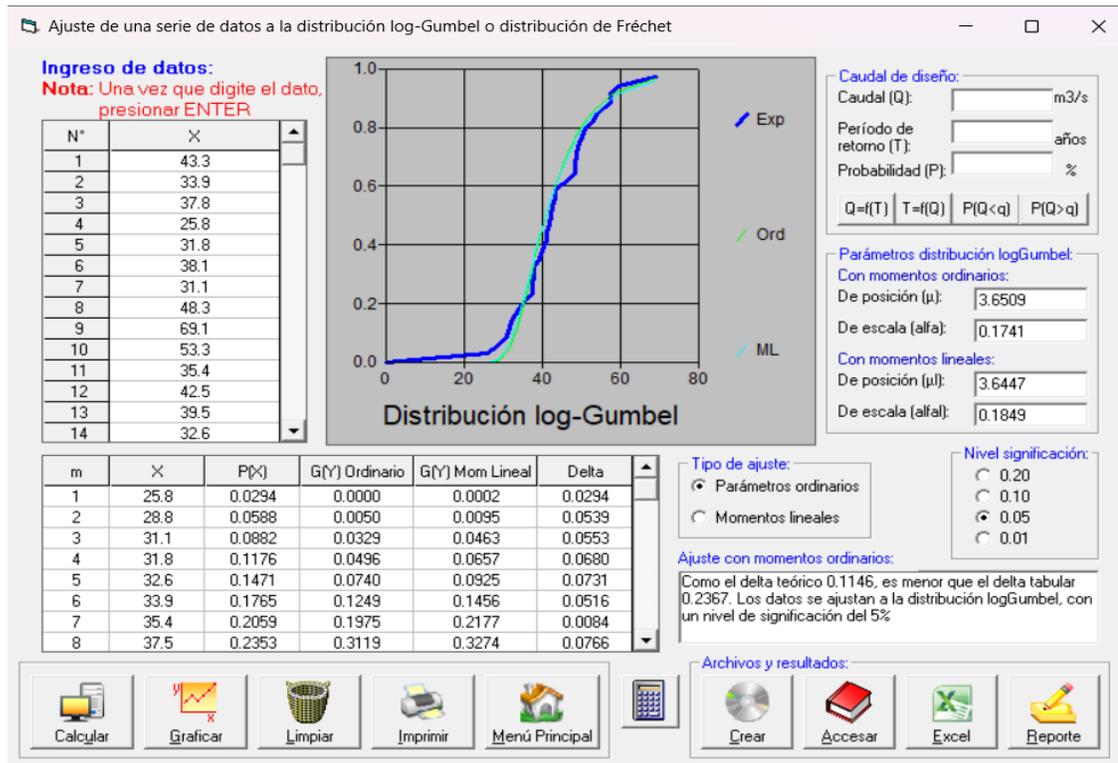


Figura 40 Distribución log-Gumbel



Teniendo estos datos se procedió a determinar la distribución estadística teórica, que según Kolmogorov – Smirnov es el valor más bajo del resultado de todas las distribuciones siendo esta la que más se asemeja a nuestros datos.

Tabla 20 Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov

TABLA. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV KOLGOMOROV								
DELTA TABULAR	DELTA TEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES							
	DISTRIBUCIÓN NORMAL	DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL II PARAMETROS	DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL 3 PARÁMETROS	DISTRIBUCIÓN GAMMA II PARAMETROS	DISTRIBUCIÓN GAMMA III PARAMETROS	DISTRIBUCIÓN LOGPERSON TIPO III	DISTRIBUCIÓN GUMBEL	DISTRIBUCIÓN LOGGUMBEL
0.215	0.1012	0.0667	0.069	0.0724	0.06935	-	0.092	0.1146
Δ MIN	0.0667							

Como el resultado del Δ teórico de la distribución LogNormal de 2 parámetros es menor al Δ tabular y al mismo modo de las demás distribuciones, se procedió a calcular las precipitaciones máximas anuales para los siguientes periodos de retorno con dicha distribución:

Tabla 21 *Precipitaciones periodos de retorno sin corregir*

PRECIPITACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	
T (años)	Distribución Log Normal II P
2	42.58
5	51.38
25	62.96
50	67.36
70	69.44
100	71.59
200	75.69
500	80.98
750	83.28

Los valores de las precipitaciones máximas mencionadas en la tabla anterior no corresponden a las precipitaciones reales debido a los intervalos en que se registraron los datos, debido a ello se realizó la corrección correspondiente resultando.

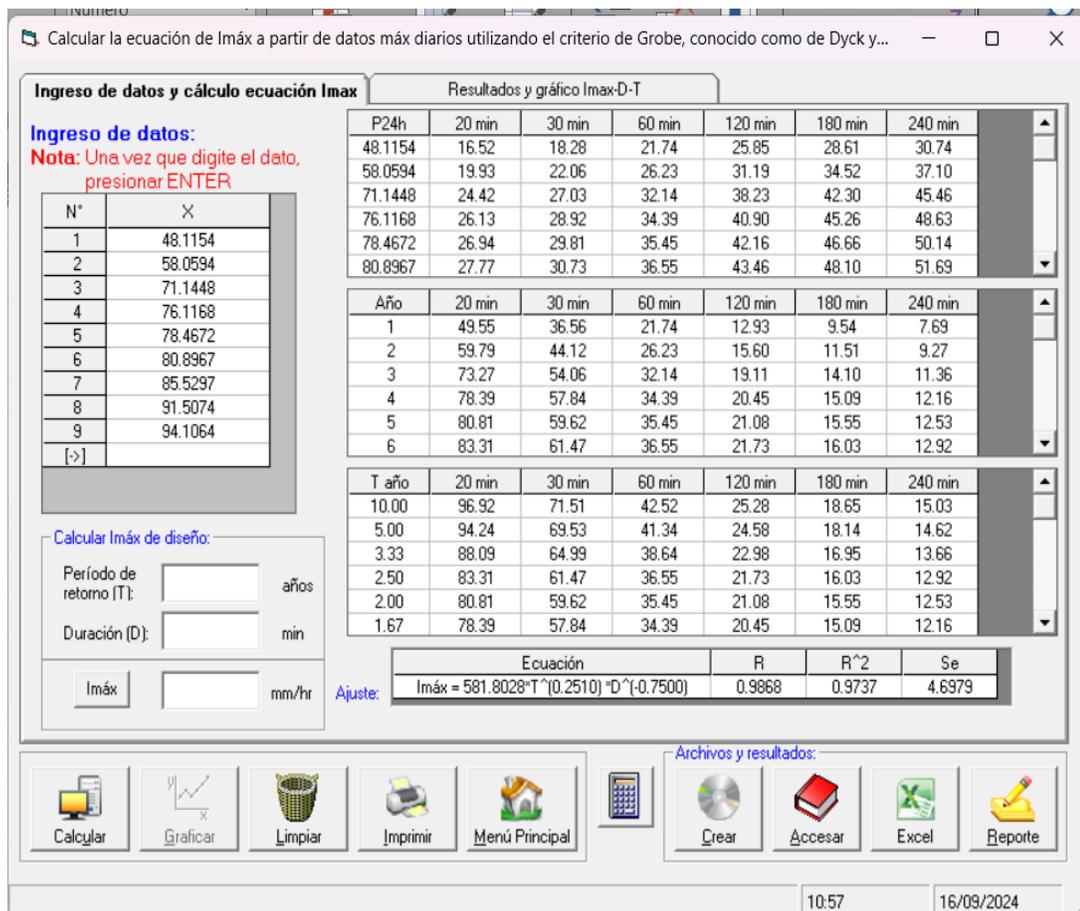
Tabla 22 *Precipitaciones para diferentes periodos de retorno corregidas*

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	
T(Años)	Distribución Log Normal II P
2	48.12
5	58.06
25	71.14
50	76.12

70	78.47
100	80.90
200	85.53
500	91.51
750	94.11

Seguidamente, utilizando los valores de las precipitaciones máximas anuales corregidas se calcularon las precipitaciones máximas para diversas duraciones que van de 20 minutos hasta 240 minutos, así como sus intensidades y la ecuación característica en el software HidroEsta 2.

Figura 41 Ecuación de la intensidad máxima



Estos valores se juntaron con los valores de intensidad máxima, resultando las curvas IDF:

Figura 42 Curvas I-D-F en HidroEsta 2

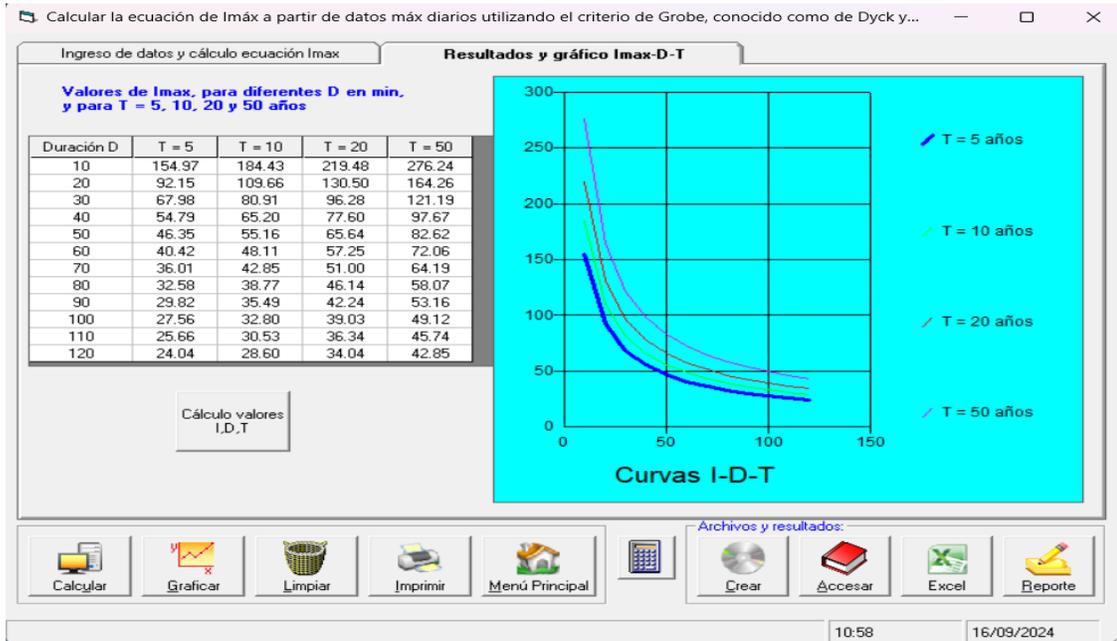
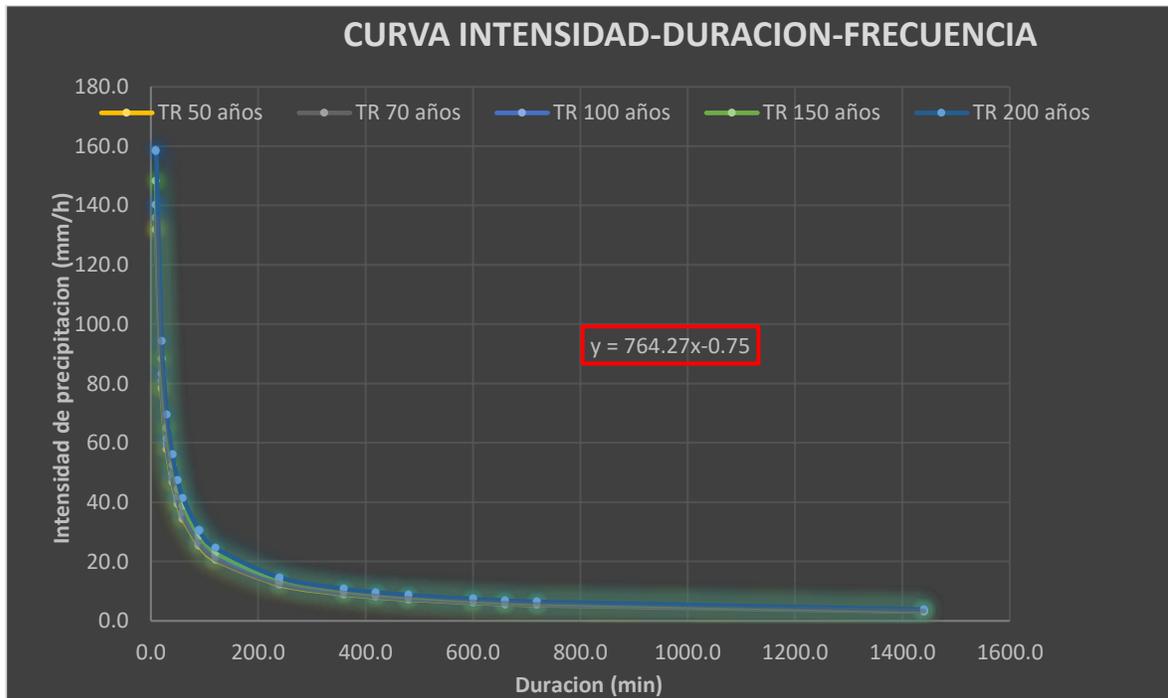


Figura 43 Curvas I-D-F correspondientes a los periodos de retorno analizados



Con estas curvas I-D-F se calcularon las profundidades y las profundidades asociadas a cada periodo de retorno, las cuales fueron utilizadas para generar los

hietogramas de diseño mediante bloque alterno.

Figura 44 Hietograma de precipitación de diseño ($TR=50$ años)

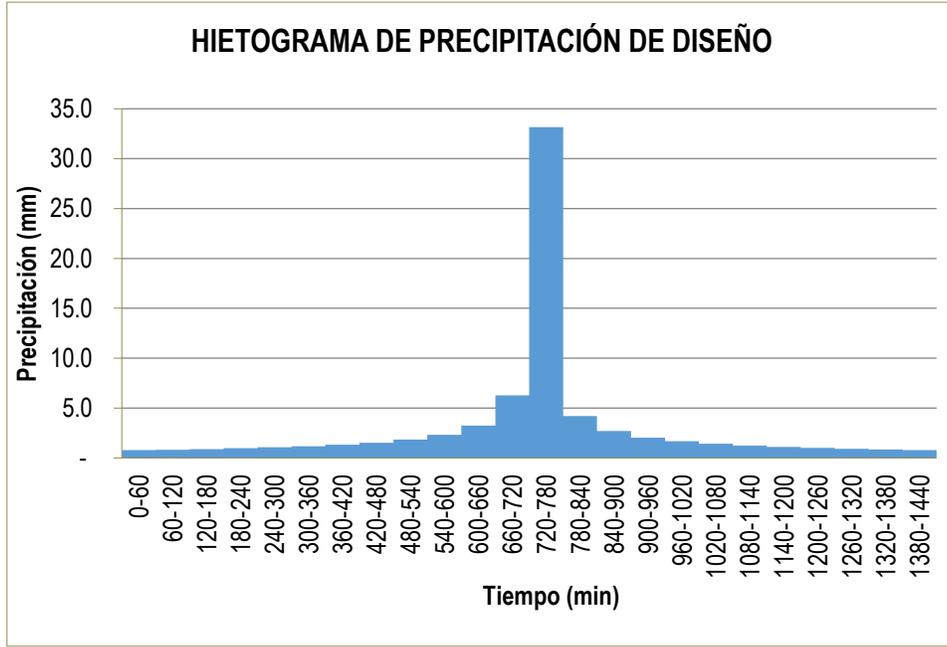


Figura 45 Hietograma de precipitación de diseño ($TR=70$ años)

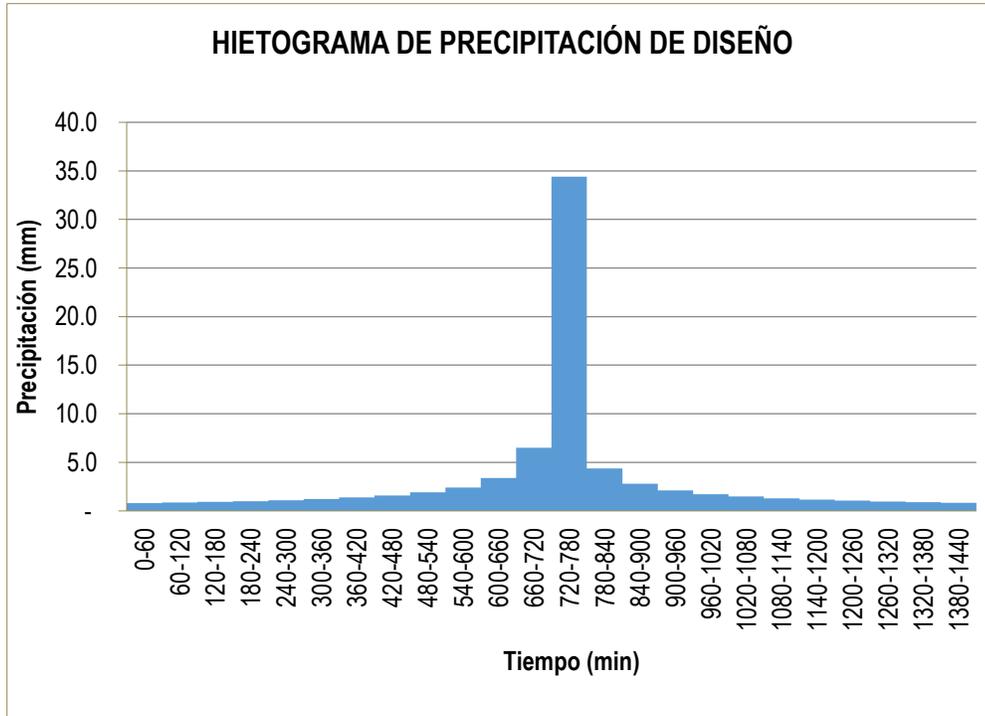


Figura 46 Hietograma de precipitación de diseño ($TR=100$ años)

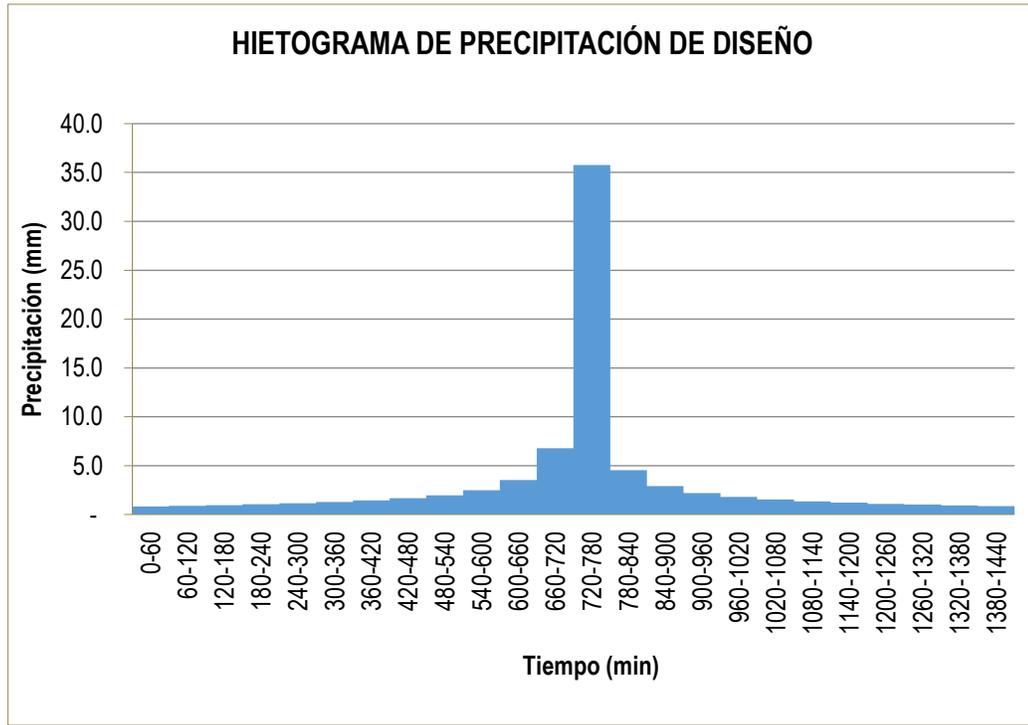


Figura 47 Hietograma de precipitación de diseño ($TR=150$ años)

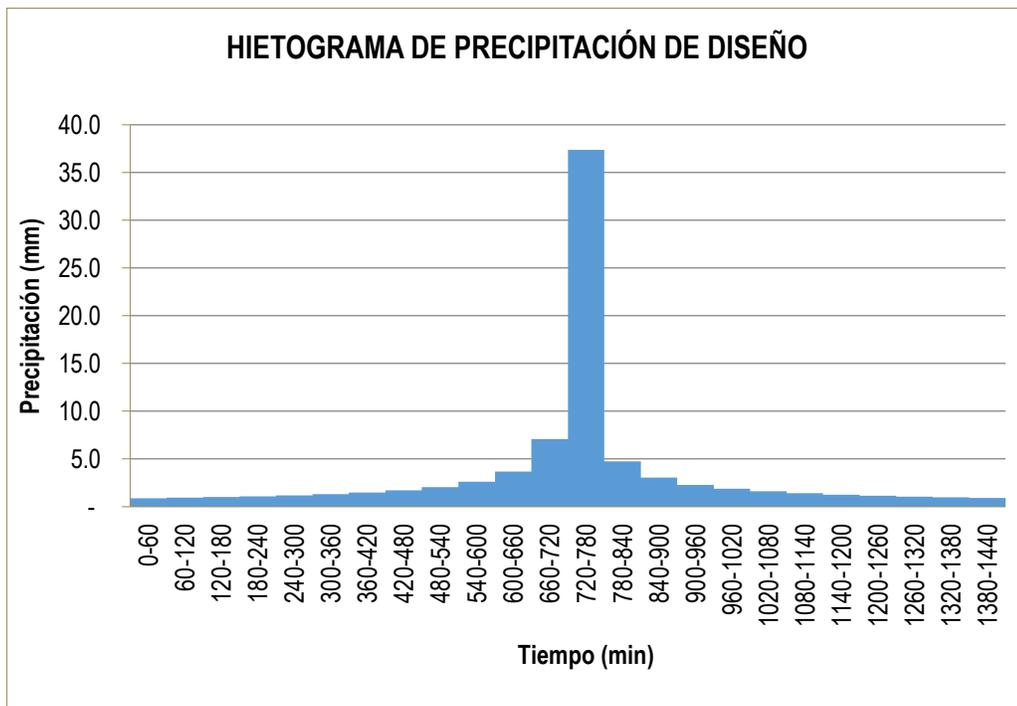
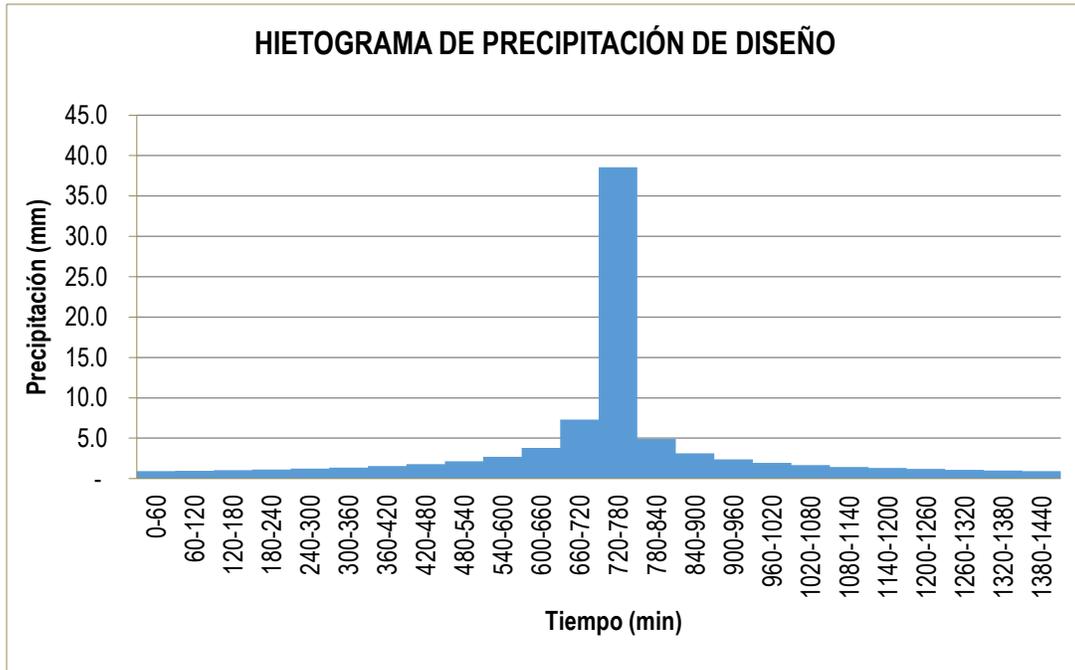
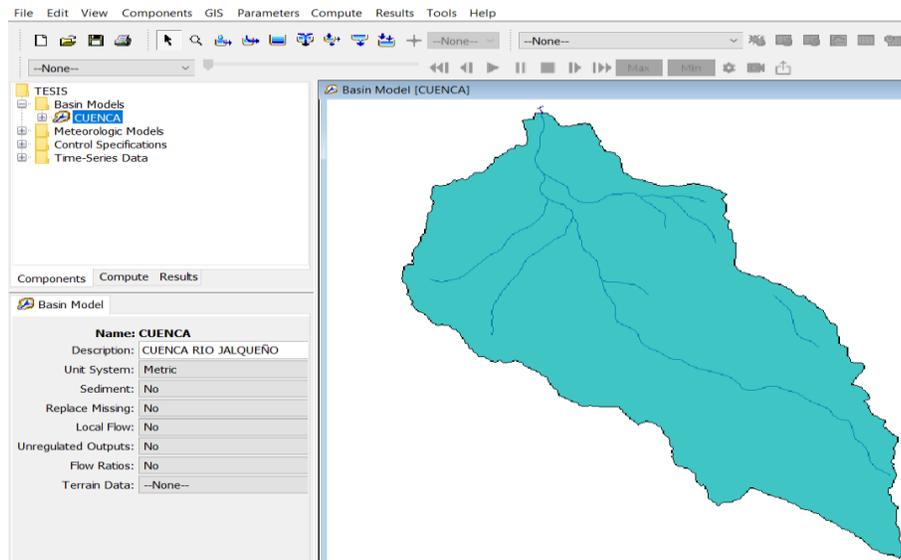


Figura 48 *Hietograma de precipitación de diseño (TR=200años)*



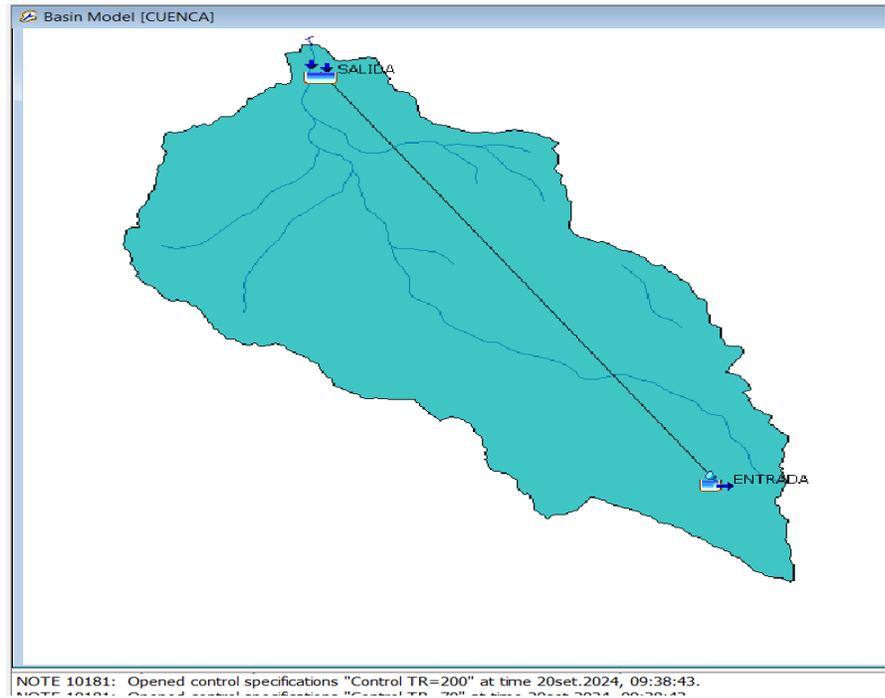
Una vez definidos los parámetros de la cuenca, junto con las intensidades y los periodos de retorno, se procedió a exportar la cuenca del río Jalqueño desde el software ArcGIS al software Hec - Hms con la finalidad de calcular el caudal de diseño.

Figura 49 *Cuenca del río Jalqueño en el software Hec - Hms*



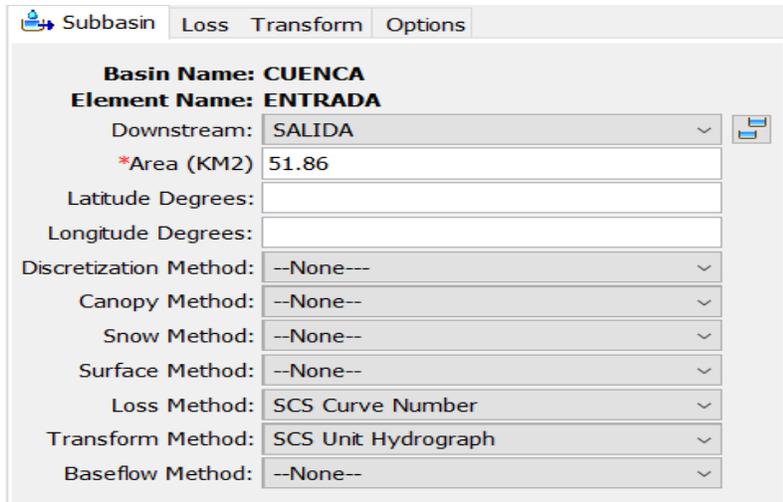
Se ubico el punto de entrada y salida de cuenca del río Jalqueño en Hec-Hms

Figura 50 Punto de entrada y salida en la cuenca



En la parte de descripción de la cuenca, se introdujo su área y se asignaron el método de pérdidas y transformación, los cuales son SCS Curve Number y el SCS Unit Hydrograph

Figura 51 Método SCS Curve Number y el SCS Unit Hydrograph



A continuación se introdujo el valor del número de curva de la cuenca, este valor se calculó mediante dos métodos, el primero se usó el mapa temático brindado por la

autoridad nacional del agua delimitandola para nuestra cuenca de estudio resulta que se encuentra en el rango de 79 y 98.

Figura 52 Rango de número de curva según el ANA



El otro método brinda un resultado más preciso, para ello se delimita la cuenca del río Jalqueño en los mapas temáticos de cobertura vegetal, uso de suelo y la imagen digital DEM mediante el software Arc Gis.

Figura 53 Cobertura vegetal delimitada por la cuenca del del río Jalqueño



Figura 54 *Uso del suelo delimitado por la cuenca del rio Jalqueño*



Se prosiguió a reclasificar los suelos como indica la ANA y a interceptar ambos mapas:

Figura 55 *Números de curva dentro de la cuenca*



Por último, para obtener el número de curva de la cuenca se calculó el área de cada intersección mediante ArcGIS, dando como resultado una tabla de atributos donde están los valores de las áreas interceptadas, a estos valores se calculó el promedio y dicho resultado es el número de curva de la cuenca resultado CN=80.

Tabla 23: *Tabla de atributos mediante software Arc Gis*

CobVeg2013	Landuse	Tipodesuelo	Desc_suelo	NC	AREA
Agricultura cost	4	C	Leptosol dístico - Camb	88	0.216647
Agricultura cost	4	B	Leptosol dístico - Aflor	79	43.783612
Agricultura cost	4	B	Leptosol dístico - Ando	79	0.275925
Agricultura cost	4	B	Leptosol éutrico - Aflora	79	0.047519
Agricultura cost	4	C	Cambisol éutrico - Verti	88	7.675978
Area urbana	2	D	Casco urbano	98	0.000073

Tabla 24: *Calculo del número de curva de la cuenca del rio Jalqueño*

CN	Area (Km2)	CN x Area
88	0.2166	19.064936
79	43.7836	3458.90535
79	0.2759	21.798075
79	0.0475	3.754001
88	7.6760	675.486064
98	0.0001	0.007154
	51.86	4179.01558

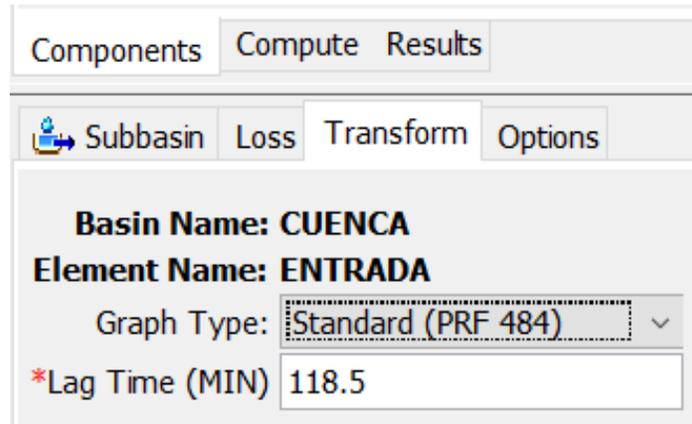
Una vez calculado el número de curva de la cuenca del rio Jalqueño se procedió a asignarlo en el software Hec – Hms en la parte de perdidas o Loss.

Figura 56 *Asignación del valor del número de curva*

The screenshot shows the 'Loss' configuration window in Hec-HMS. The 'Basin Name' is 'CUENCA' and the 'Element Name' is 'ENTRADA'. The 'Initial Abstraction (MM)' field is empty. The '*Curve Number' is set to 80, and '*Impervious (%)' is set to 0.0. The window has tabs for 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options'.

Siguiendo con la introducción de datos se asignará el Lag Time que es equivalente al 60% del valor del Tiempo de concentración este valor se calculara mediante la ecuación de retardo SCS ya que considera el número de curva para dicho cálculo.

Figura 57 Asignación del valor de Lag Time



Se siguió introduciendo los datos de precipitación en la sección Tim Series Data, los cuales fueron graficados, para periodos de retorno de 50, 70, 100, 150 y 200 años:

Figura 58 Datos de serie de tiempo para $Tr=50$ años

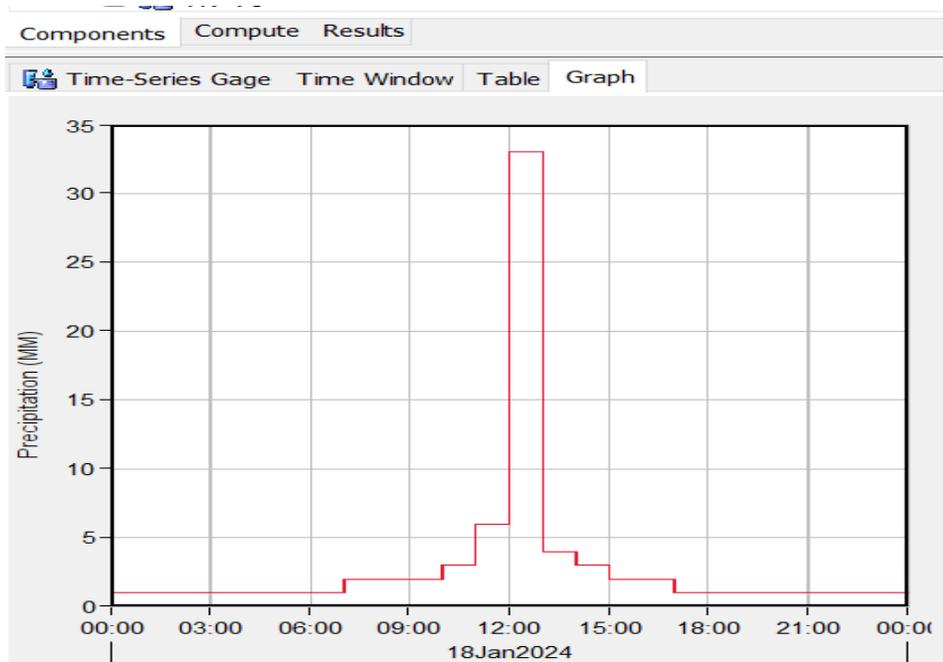


Figura 59 Datos de serie de tiempo para $Tr=70$ años

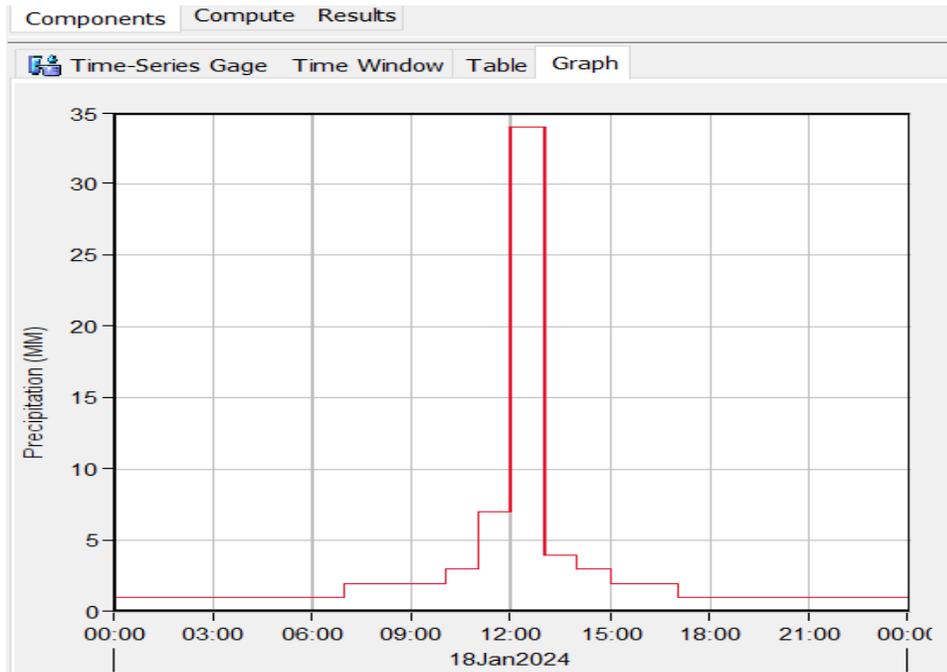


Figura 60 Datos de serie de tiempo para $Tr=100$ años

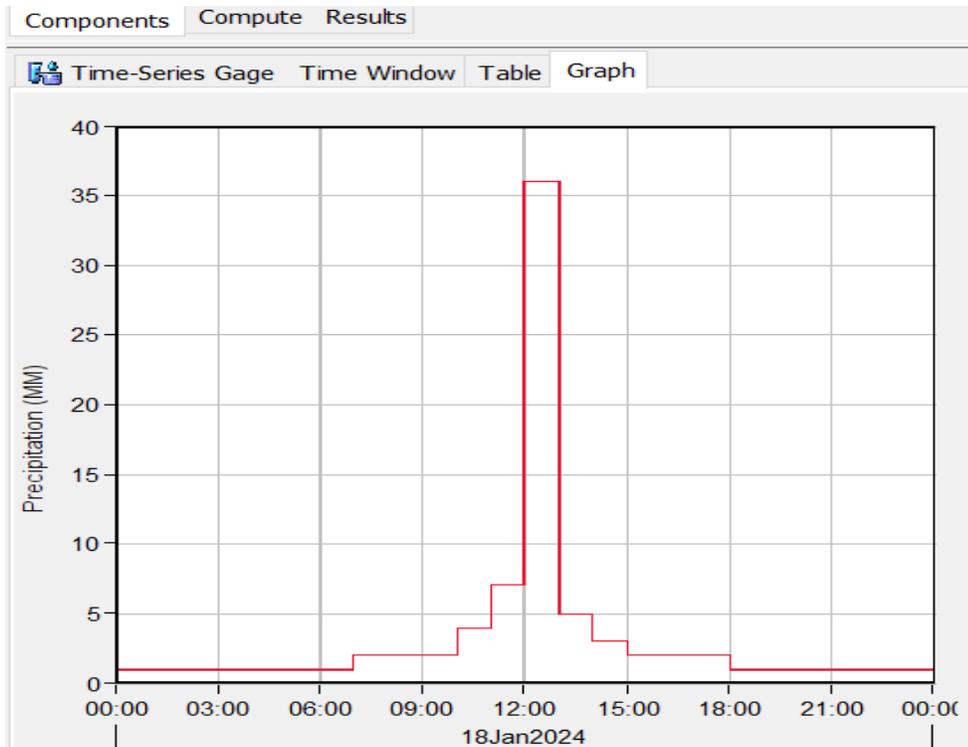
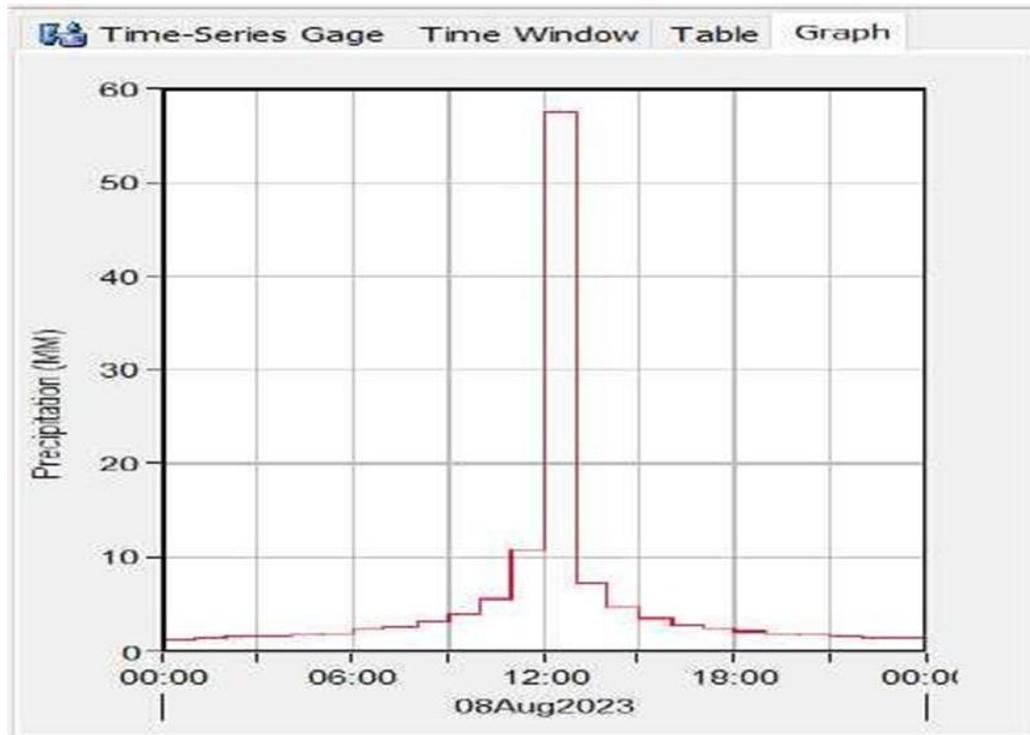


Figura 61 Datos de serie de tiempo para $Tr=200$ años



Seguidamente, se elaboraron los modelos meteorológicos, en los que se estableció que la precipitación se determinaría a partir de los hietogramas especificados:

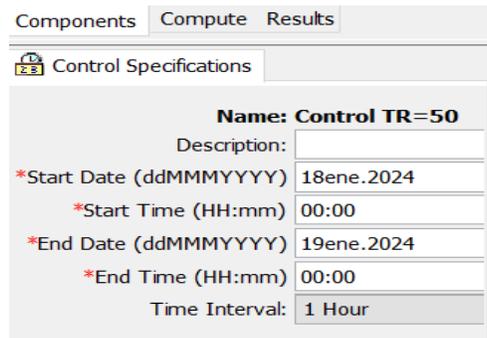
Figura 62 Asignación de precipitación en el modelo meteorológico

The screenshot shows the 'Meteorology Model' configuration window with tabs for 'Basins' and 'Options'. The 'Met Name' is 'TR=50A'. The 'Description' field is empty. The 'Unit System' is 'Metric'. The 'Shortwave' and 'Longwave' options are set to '--None--'. The 'Precipitation' option is set to 'Specified Hyetograph'. The 'Temperature', 'Windspeed', 'Pressure', 'Dew Point', and 'Evapotranspiration' options are all set to '--None--'. The 'Replace Missing' option is set to 'Set To Default'.

Parameter	Value
Met Name	TR=50A
Description	
Unit System	Metric
Shortwave	--None--
Longwave	--None--
Precipitation	Specified Hyetograph
Temperature	--None--
Windspeed	--None--
Pressure	--None--
Dew Point	--None--
Evapotranspiration	--None--
Replace Missing	Set To Default

Como último paso antes del cálculo de los caudales de diseño, se definieron las especificaciones de control, como se detalla a continuación:

Figura 63 Especificaciones de control



Una vez asignados los valores de las series de tiempo, los modelos meteorológicos y las especificaciones de control se procedió a realizar la simulación en el software Hec-Hms para determinar el caudal correspondiente a cada uno de los periodos de retorno.

Figura 64 Creación de simulaciones

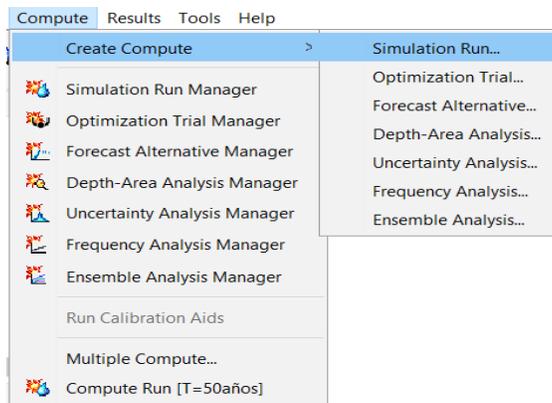


Figura 65 Caudal mediante simulación para $Tr=50$ años

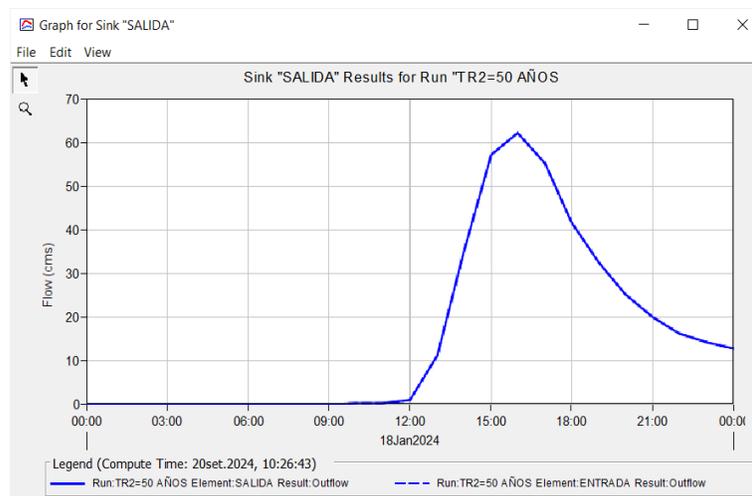


Figura 66 Caudal mediante simulación para $Tr=70$ años

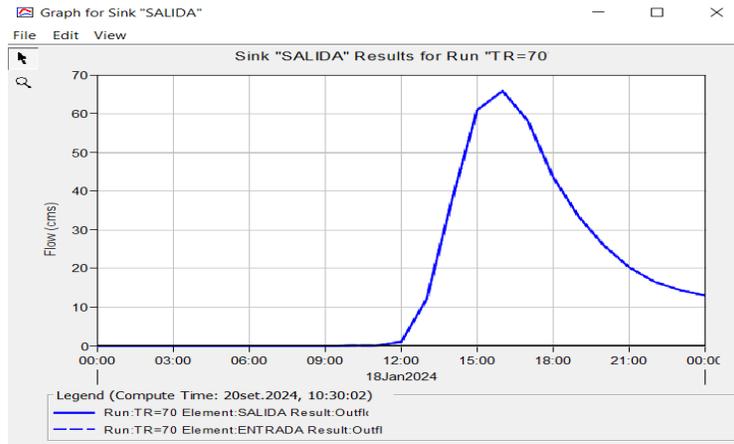


Figura 67 Caudal mediante simulación para $Tr=100$ años

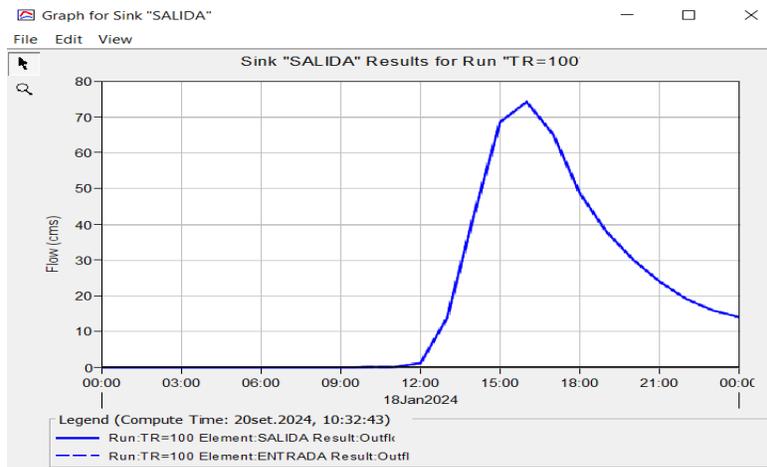
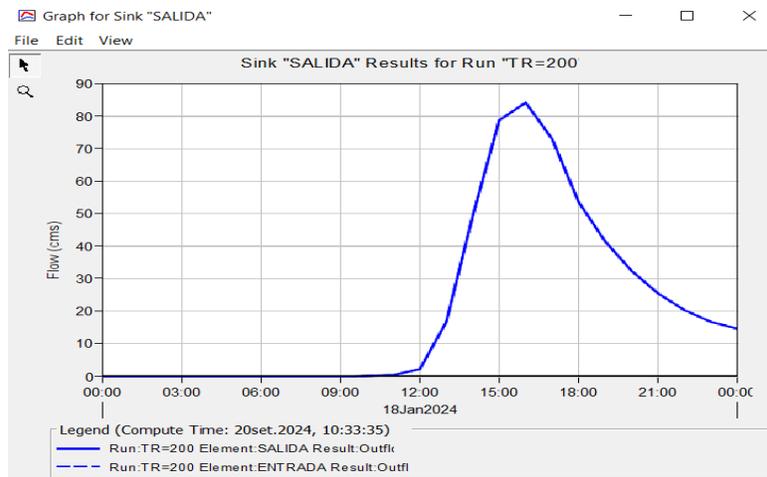


Figura 68 Caudal mediante simulación para $Tr=200$ años



3.3.8. Modelamiento hidráulico

Para el modelamiento hidráulico se requiere el modelo digital de elevaciones o DEM este es esencial para representar la topografía del área de estudio, para nuestra investigación se generó mediante levantamiento topográfico, valores de la rugosidad de Manning este valor se obtuvo por medio de la ortofoto visualizando los diferentes tipos de usos de suelo, condiciones de entrada y salida y los hidrogramas para los diferentes periodos de retorno.

Figura 69 Área de estudio mediante Ortofoto



A partir de la ortofoto se obtuvieron las curvas de nivel, las cuales fueron combinadas con los puntos COGO obtenidos del levantamiento con GPS diferencial, dando como resultado la información suficiente para crear la superficie topográfica en el software Civil 3D:

Figura 70 *Curvas de nivel y puntos COGO de la zona de estudio*



Las curvas de nivel fueron exportadas del Civil 3d al software arc gis mediante formato LandXML, para crear el TIN del área de estudio y con este generar el ráster del DEM (modelo digital de elevaciones).

Figura 71 TIN del área de estudio

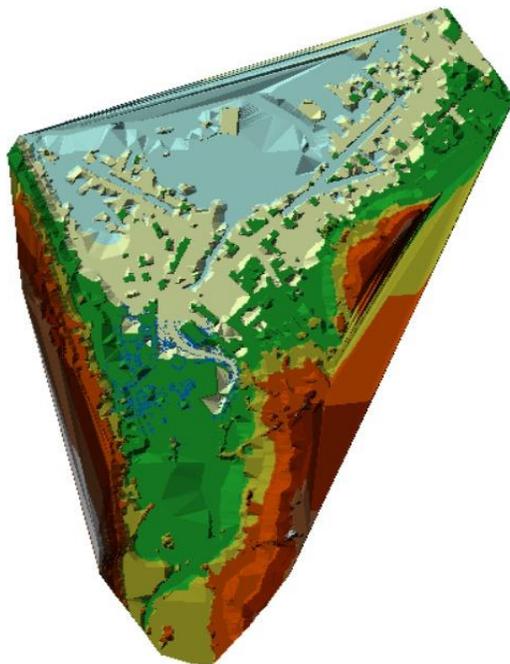
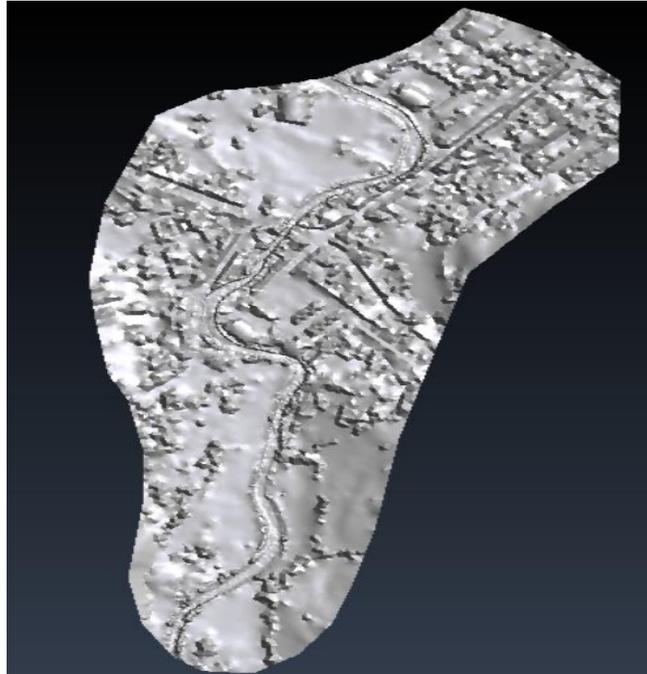


Figura 72 Superficie DEM en 2d del área de estudio



A continuación, el ráster fue exportado en formato ASCII para generar la malla de cálculo del área de estudio.

Figura 73 *Malla de cálculo del área de estudio*



A la malla de cálculo se le asignaron los valores de rugosidad N de Manning, derivados de la caracterización de la ortofoto. Para ello, se importó un archivo shapefile con esta información a Iber y se asignaron los valores correspondientes.

Tabla 25: *Número de Manning para los diferentes usos de suelo*

Id	Uso de suelo	N Manning
1	Arboles	0,12
2	Arbustos	0,05
3	Concreto	0,018
4	Cultivo	0,045
5	Curso de agua	0,025
6	Pastos	0,035
7	Vegetación dispersa	0,025
8	Zona urbana	0,1
9	Zona urbana discontinua	0,09

Figura 74 Rugosidades del área de estudio para Iber.

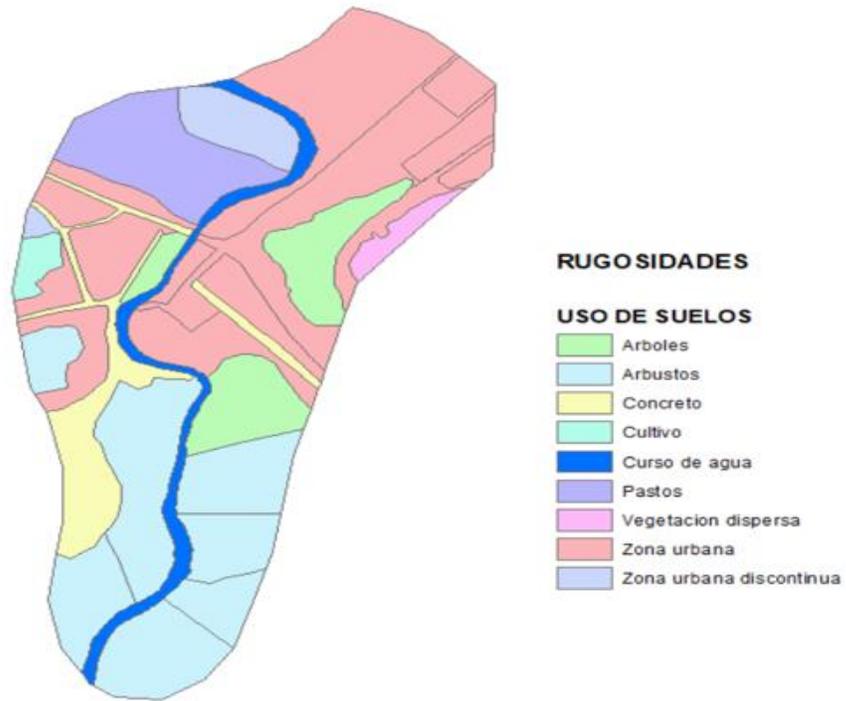


Figura 75 Asignación de la entrada en Iber (Inlet)

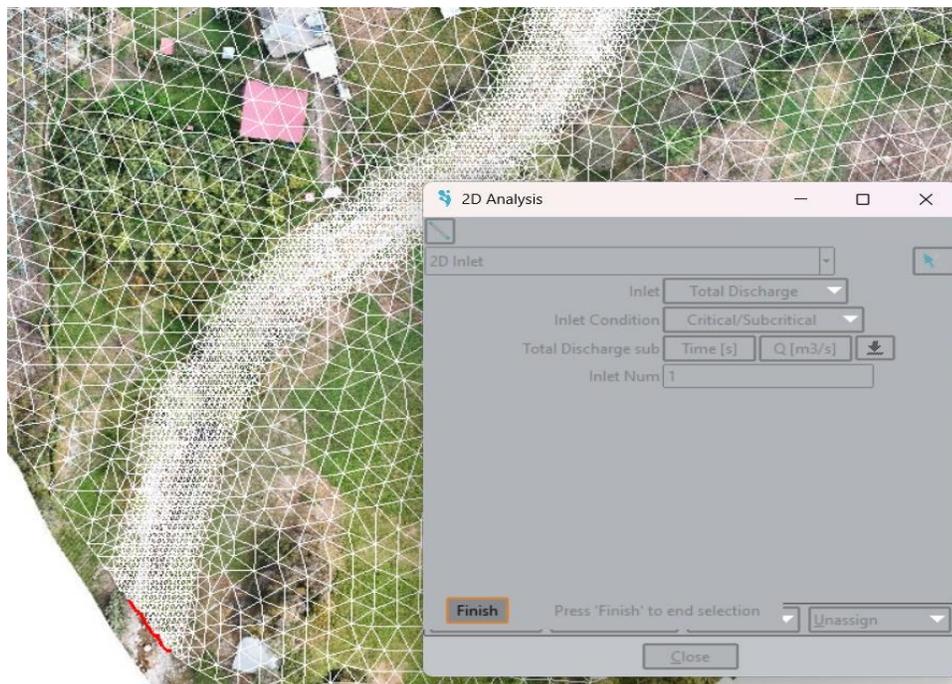
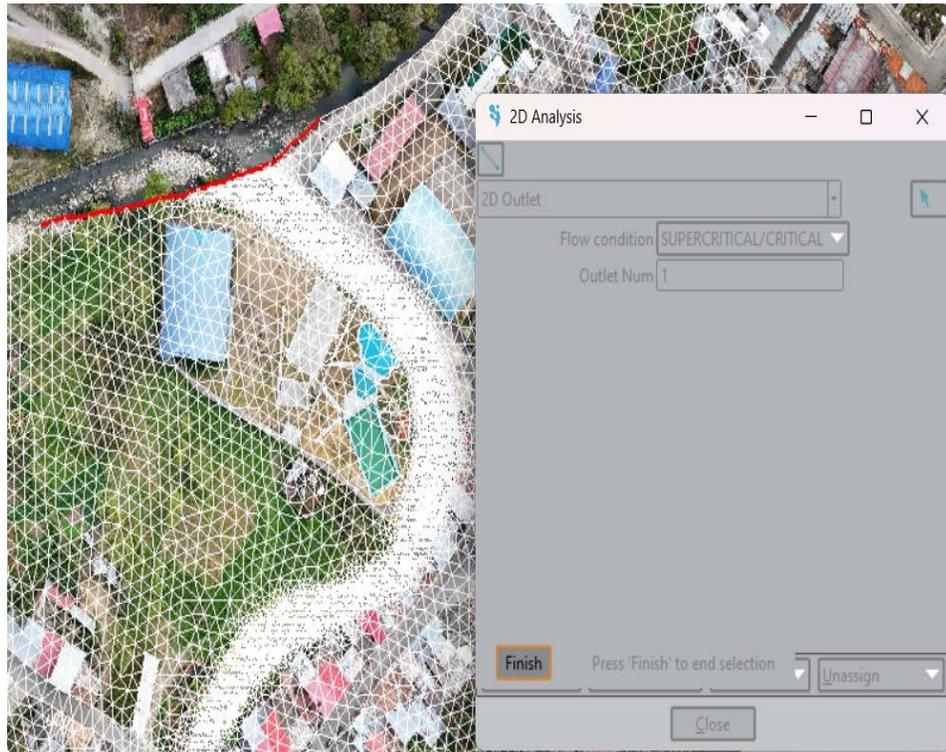


Figura 76 Asignación de la salida (Outlet)



El dato que se debe ingresar en Iber para el análisis 2D es el hidrograma correspondiente a cada periodo de retorno, el cual fue obtenido mediante el software HEC-HMS y posteriormente graficado en Iber son:

Figura 77 Gráfico del Hidrograma en Iber (TR = 50 años)

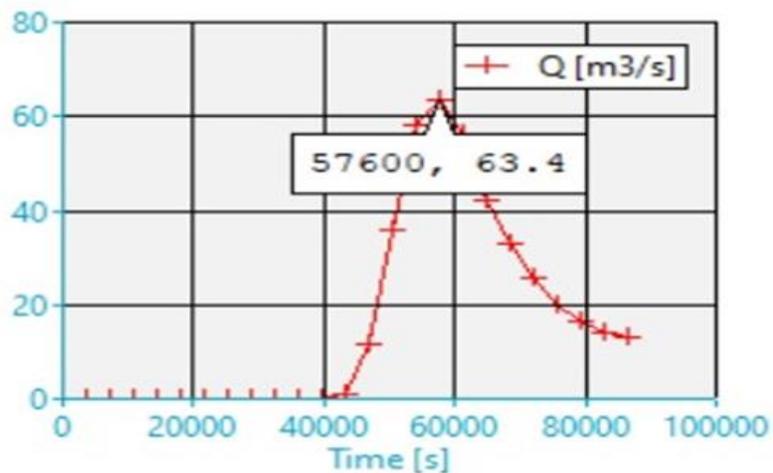


Figura 78 Gráfico del Hidrograma en Iber (TR= 70 años)

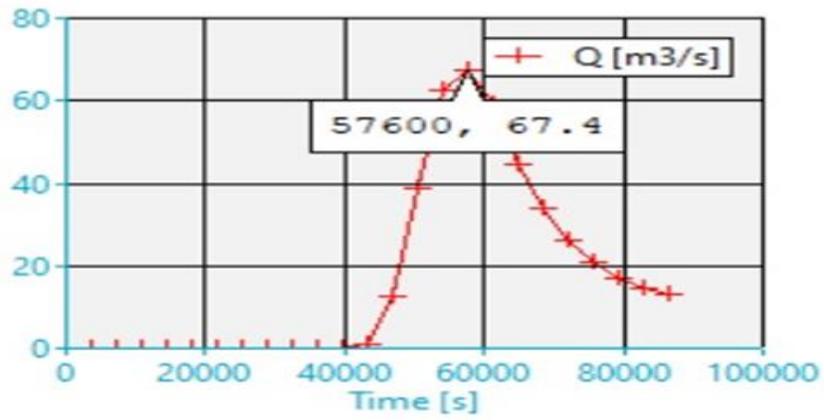


Figura 79 Gráfico del Hidrograma en Iber (TR = 100 años)

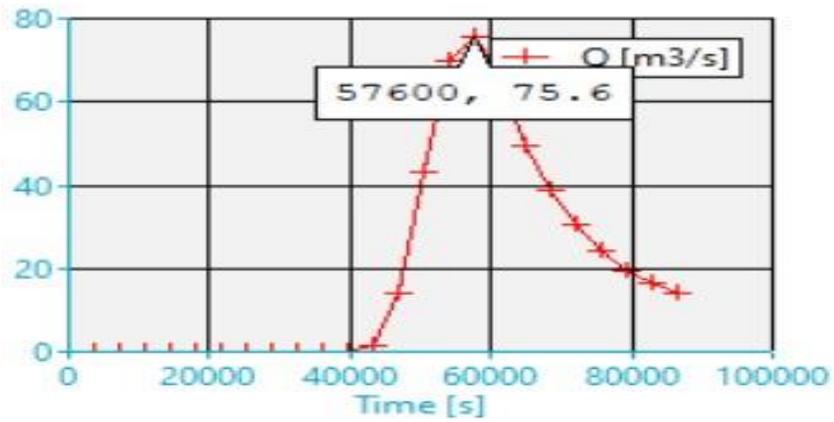


Figura 80 Gráfico del Hidrograma en Iber (TR = 150 años)

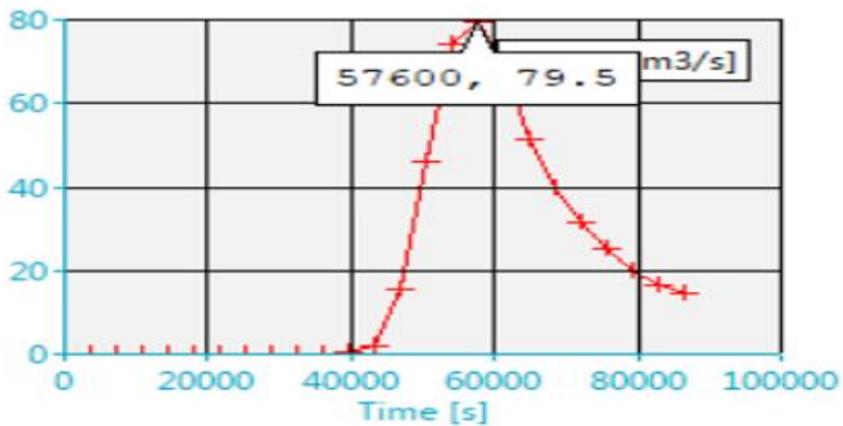
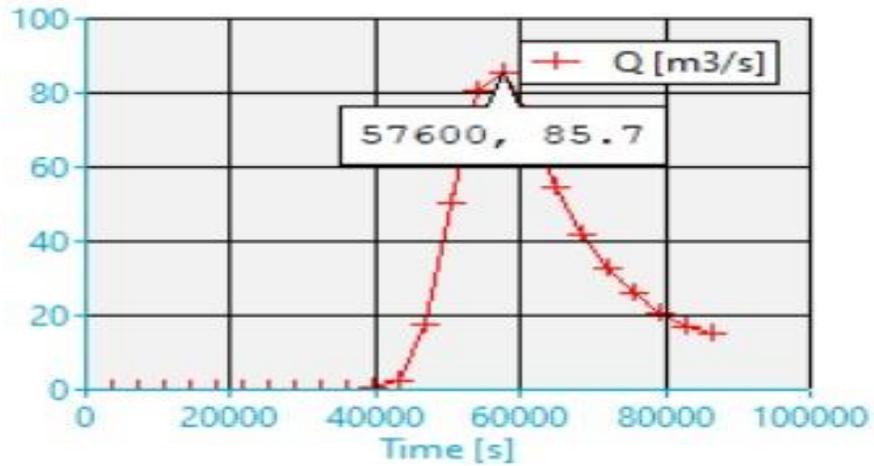
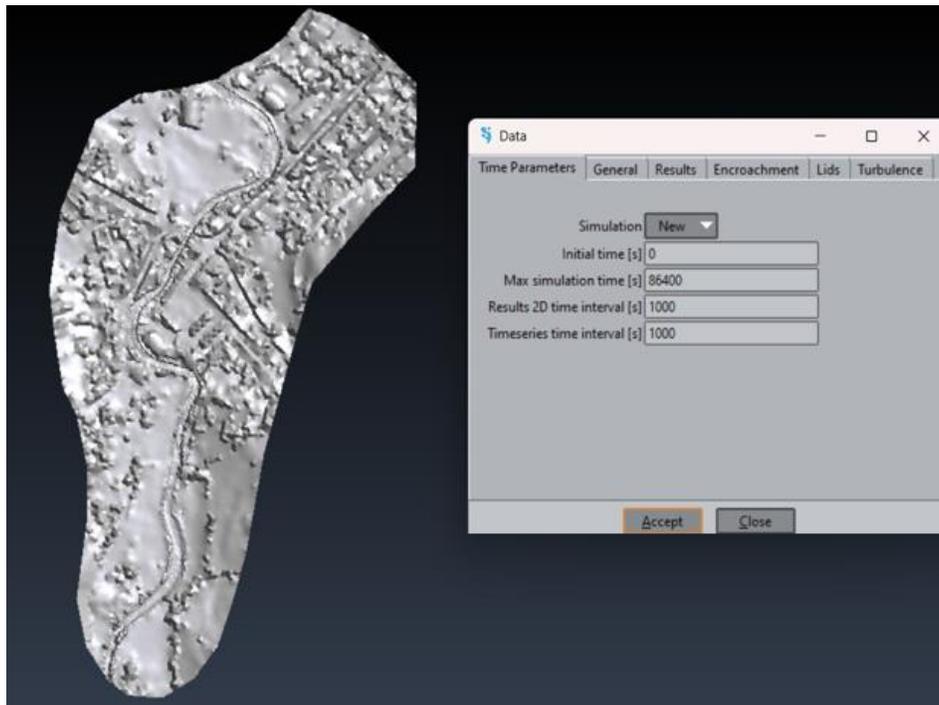


Figura 81 Gráfico del Hidrograma en Iber ($TR = 200$ años)



A continuación, se ingresaron el initial time (tiempo inicial) y el Max simulation time (tiempo máximo de simulación) según el como se muestra en la siguiente figura:

Figura 82 Datos ingresados para la simulación 2D en Iber



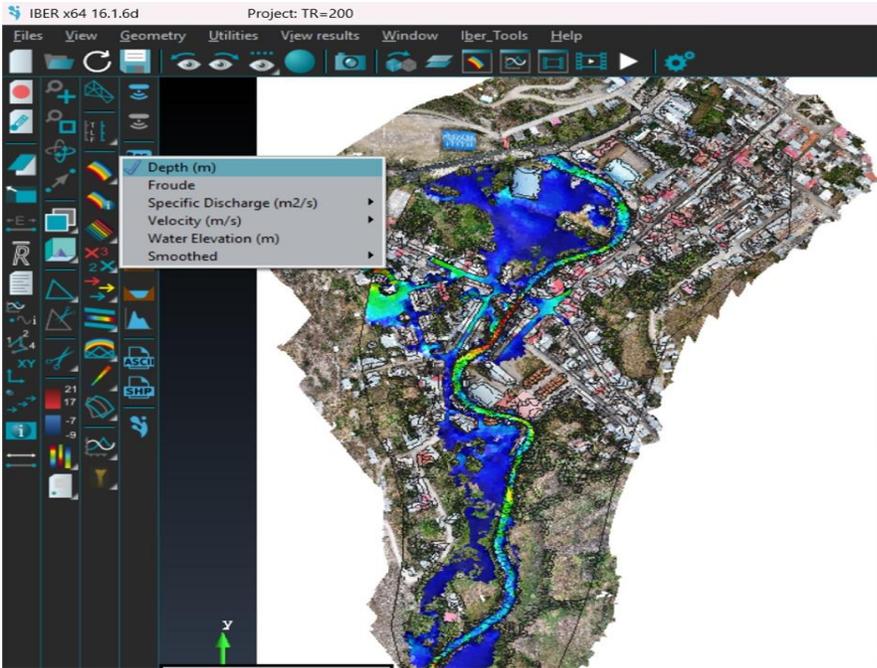
Y como último paso se procede a realizar la simulación hidráulica 2D para cada periodo de retorno, cuya información de la simulación durante los intervalos de tiempo se muestra en la figura:

Figura 83 Información de la simulación durante intervalos de tiempo en Iber

Simulation time	Time step	Time	Qin	Qout
0.000	1.00000	11:09:41:33	0.000	0.000
1000.000	1.00000	11:09:45:80	0.000	0.000
2000.000	1.00000	11:09:50:22	0.000	0.000
3000.000	1.00000	11:09:54:61	0.000	0.000
4000.000	1.00000	11:09:59:01	0.000	0.000
5000.000	1.00000	11:10:03:38	0.000	0.000
6000.000	1.00000	11:10:08:03	0.000	0.000
7000.000	1.00000	11:10:12:57	0.000	0.000
8000.000	1.00000	11:10:17:05	0.000	0.000
9000.000	1.00000	11:10:21:50	0.000	0.000
10000.000	1.00000	11:10:25:89	0.000	0.000
11000.000	1.00000	11:10:30:26	0.000	0.000
12000.000	1.00000	11:10:34:67	0.000	0.000
13000.000	1.00000	11:10:39:07	0.000	0.000
14000.000	1.00000	11:10:43:43	0.000	0.000
15000.000	1.00000	11:10:47:82	0.000	0.000
16000.000	1.00000	11:10:52:18	0.000	0.000
17000.000	1.00000	11:10:56:55	0.000	0.000
18000.000	1.00000	11:11:00:95	0.000	0.000
19000.000	1.00000	11:11:05:33	0.000	0.000
20000.000	1.00000	11:11:09:72	0.000	0.000

Los resultados de la simulación en Iber se presentan en las siguientes figuras, donde se muestran los calados o tirantes y las velocidades a lo largo del flujo del caudal en el área de estudio.

Figura 84 Resultados del cálculo del modelamiento hidráulico en Iber



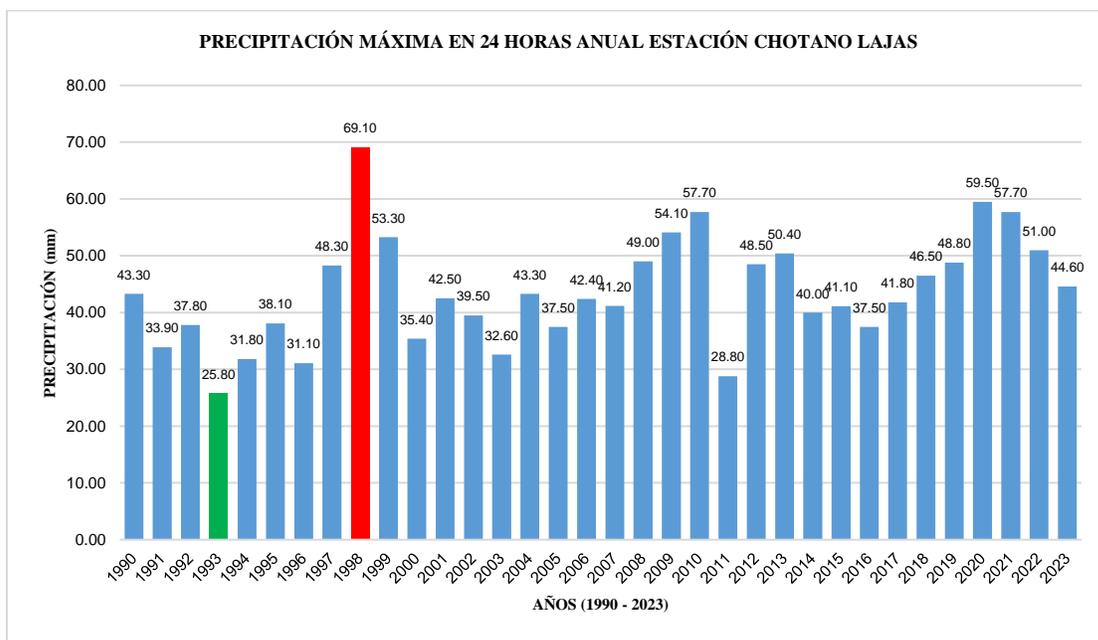
A partir de los resultados de calados o tirantes y velocidades se calcularon los niveles de peligrosidad y posteriormente crear los mapas de inundaciones con niveles de peligrosidad para cuatro periodos de retorno

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Información Hidrológica

En base a la información obtenida del SENAMHI DZ 2, se elaboró un gráfico de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales, donde se observó que la precipitación mínima ocurrió en el año 1993, con un valor de 25,8 mm, mientras que la mayor precipitación se presentó en el año 1998, con un valor de 69,1 mm.

Figura 85 Máxima y mínima precipitación documentada en la estación Chotano Lajas



4.2. Información cartográfica

El distrito de Lajas se localizó en la carta nacional 14f, lo que facilitó la obtención de información sobre las curvas de nivel, así como los ríos y quebradas representados en dicha carta. A partir de las curvas de nivel, con intervalos de 50 metros, se estableció que el rango altitudinal del distrito de Lajas varía entre los 2050 m.s.n.m. y los 3650 m.s.n.m.

Figura 86 *Altitudes del distrito de Lajas*



4.3. Información topográfica

Tras llevar a cabo el levantamiento topográfico de la zona de estudio utilizando GPS diferencial, se recopilaron 880 puntos. Esta información se complementó con las imágenes aéreas capturadas por dron, lo que permitió generar el modelo digital del terreno y la ortofoto de la zona. Al combinar ambos elementos, se obtuvo una representación en 3D del área de estudio mediante el software ArcScene:

Figura 87 *Vista 3D del área estudiada*



4.4. Parámetros de la cuenca

Tabla 26: *Parámetros de forma de la cuenca*

Parámetros de la cuenca		
Parámetro	Medida	Unidad
Área	51.86	km ²
Perímetro	37.07	km
Longitud de la cuenca	18.97	km
Ancho	2.73	km
Factor de forma de Horton	0.14	
Curva hipsométrica	C	
Coefficiente de compacidad	1.45	
Razón de elongación	0.43	
Razón de circularidad	0.47	
Tiempo de concentración	118.5	Min

- De acuerdo con el factor de forma de Horton la cuenca tiene una forma muy alargada.
- De acuerdo al coeficiente de compacidad la cuenca tiene una forma oval redonda a oval oblonga.
- De acuerdo a razón de elongación la cuenca con relieves pronunciados y pendientes empinadas
- Según la razón de circularidad, la cuenca es rectangular.
- Según la curva hipsométrica es una cuenca en etapa de vejez.

Figura 88 *Morfología de la cuenca del rio Jalqueño*

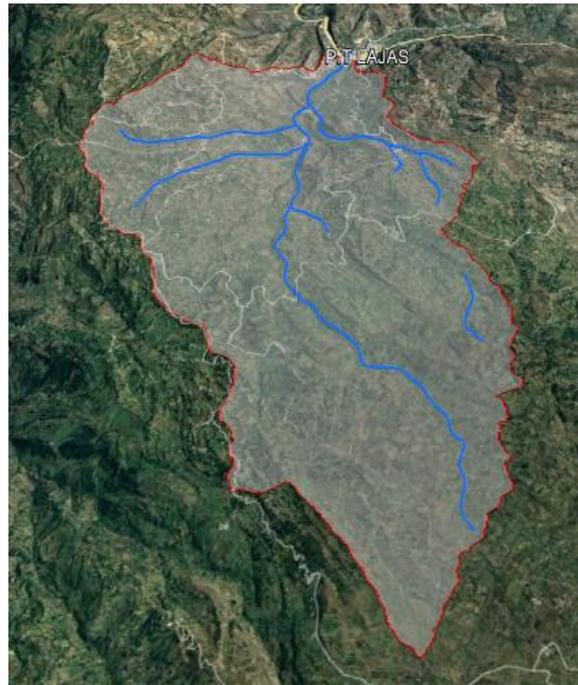


Figura 89 *Morfología del rio Jalqueño en el área de estudio*



Figura 90 Levantamiento topográfico del río Jalqueño



Figura 91 Vista del fondo del río Jalqueño



Figura 92 Lectura de secciones transversales del río Jalqueño



4.5. Modelamiento hidrológico

4.5.1. Caudales máximos

Después de llevar a cabo el modelamiento hidrológico en el software Hec-Hms, siguiendo los pasos previamente establecidos, se calcularon los caudales máximos para los periodos de retorno de TR = 50 años, TR = 70 años, TR = 100 años, TR = 150 años y TR = 200 años, obteniendo los siguientes valores de caudal:

Tabla 27 Caudales máximos para los distintos periodos de retorno

TR (años)	Caudal (m ³ /s)
50	63.4
70	67.4
100	75.6
150	79.5
200	85.7

El caudal igual a 63.4m³/s, es el caudal resultante de la calibración del modelo según los vestigios encontrados además de los testimonios de los pobladores del lugar, dichas evidencias se adjuntaron como anexos.

El caudal igual a 67.4 m³/s corresponde al periodo de retorno de 70 años corresponde para proyectos de mitigación como defensas ribereñas cuya vida útil sea de 20 años (Gaviones), y por ser defensa ribereña su probabilidad de falla es de 25%.

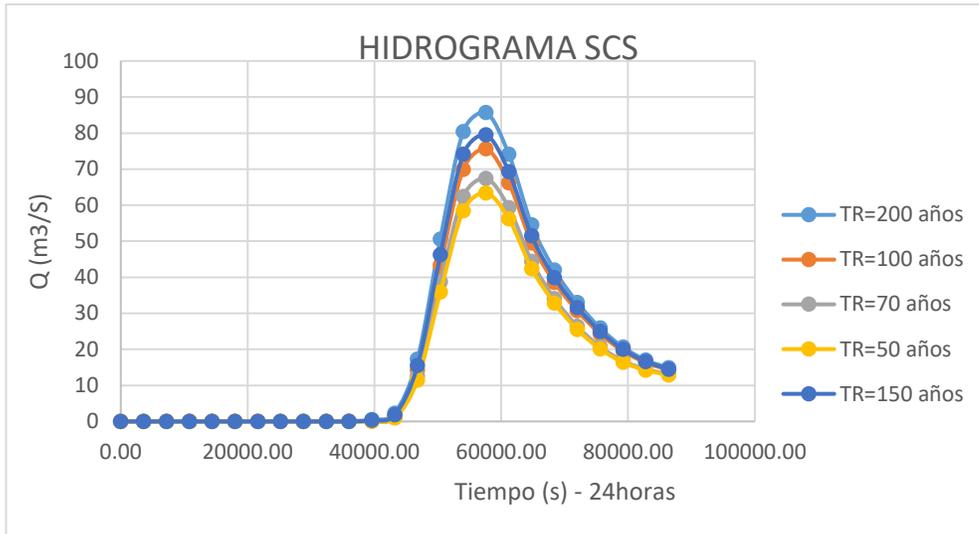
El caudal igual a 75.6 m³/s corresponde al periodo de retorno de 100 años corresponde para proyectos de mitigación como defensas ribereñas cuya vida útil sea de 30 años (Gaviones), y por ser defensa ribereña su probabilidad de falla es de 25%.

El caudal igual a 79.5 m³/s corresponde al periodo de retorno de 100 años corresponde para proyectos de mitigación como defensas ribereñas cuya vida útil sea de 40 años (muros de contención), y por ser defensa ribereña su probabilidad de falla es de 25%.

El caudal igual a 85.7 m³/s corresponde al periodo de retorno de 150 años corresponde para proyectos de mitigación como defensas ribereñas cuya vida útil sea de 50 años (muros de contención), y por ser defensa ribereña su probabilidad de falla es de 25%.

Para mitigar las inundaciones en el área de estudio según el uso de suelo se recomienda usar caudales de periodos de retorno hasta 50 años para proyectos de defensa ribereña en áreas agrícolas (Gaviones), periodo de retorno de 70 a 150 años para proyectos de defensas ribereñas en zonas donde existen, viviendas, área urbana, centros educativos (muros de contención).

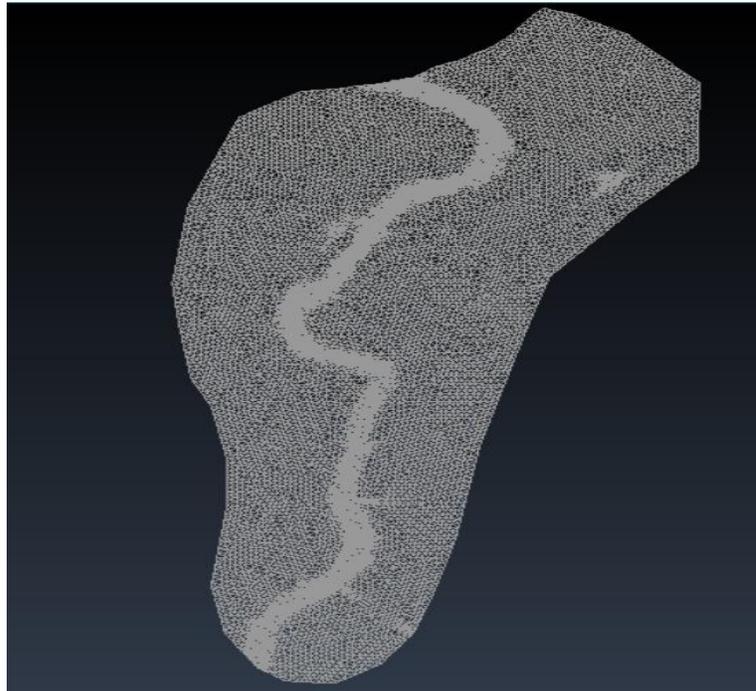
Figura 93 Hidrogramas para los distintos periodos de retorno



4.6. Modelamiento hidráulico

Se generó una malla en el software Iber con celdas de 1 metro usando el DEM obtenido previamente a partir de puntos y fotos aéreas siendo el estudio de 237, 914.23 metros cuadrados.

Figura 94 Malla de cálculo del área de estudio



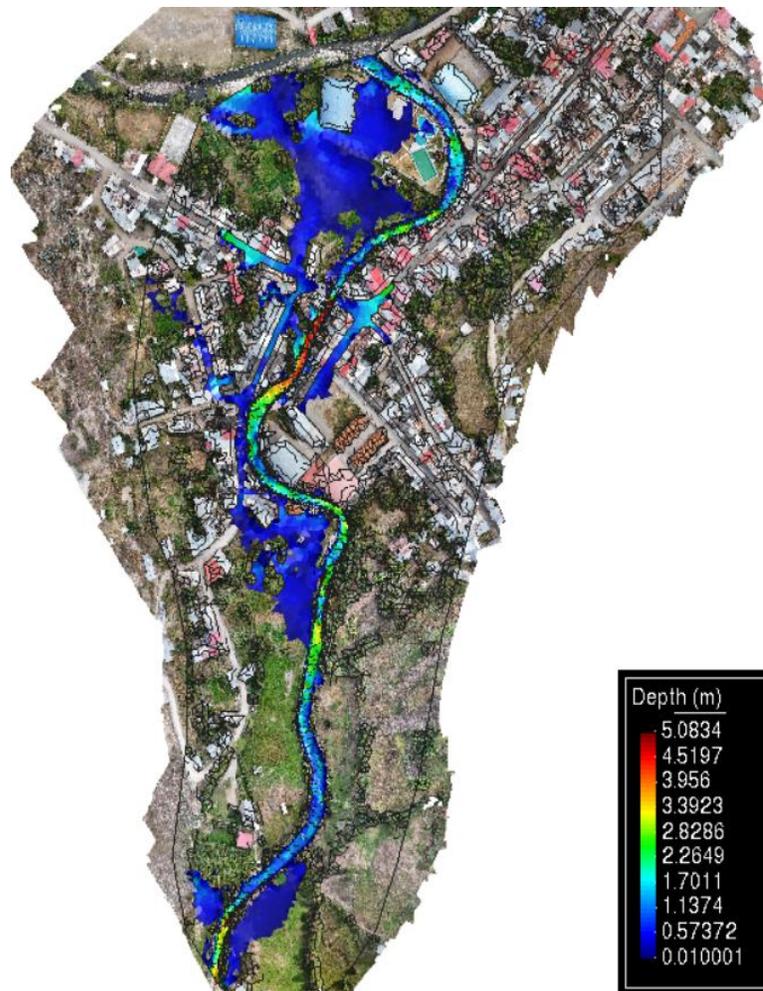
Se asignaron a la malla los usos de suelo y las rugosidades establecidas anteriormente. Tras introducir las condiciones de contorno y los datos del problema, finalmente se realizó el cálculo computacional para los periodos de retorno de TR = 50 años, TR = 70 años, TR = 100 años, TR = 150 años y TR = 200 años.

4.6.1. Modelamiento para TR=50 años

a) Tirante de agua

Para el periodo de retorno de 50 años, el tirante máximo tiene un valor de 5,083 metros en el paso de 1000 segundos en el cauce del río y en las áreas inundadas oscilo ente 0.01 a 1.68 metros, siendo este evento el más similar a la inundación ocurrida en el año 2022 como se muestra en la figura:

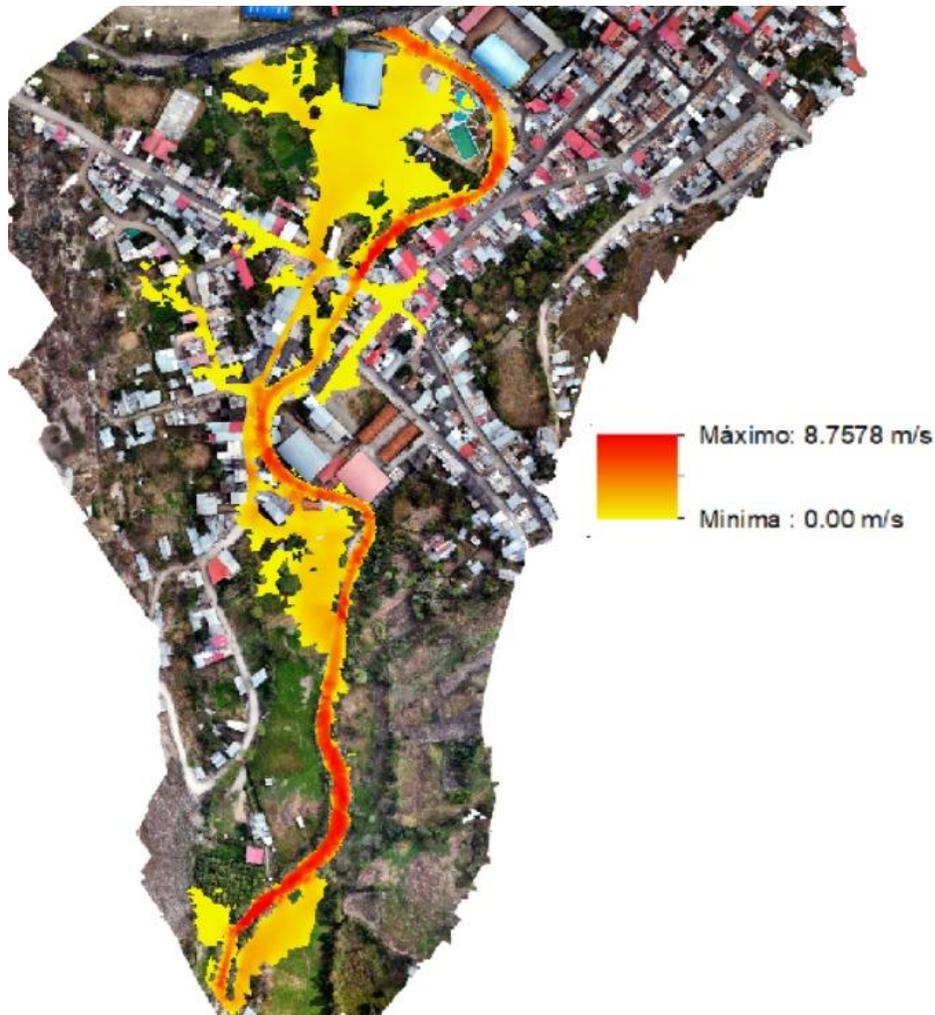
Figura 95 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=50 años



b) Velocidades

Para el periodo de retorno de 50 años, la velocidad máxima registrada tiene un valor de 8.7578 m/s en el paso de 1 000 segundos en el cauce principal de río Jalqueño y en las áreas inundadas oscilo entre 0.00 m/s y 3.8 m/s dichas como se muestran en la figura.

Figura 96 Velocidades en el área de estudio para TR=50 años

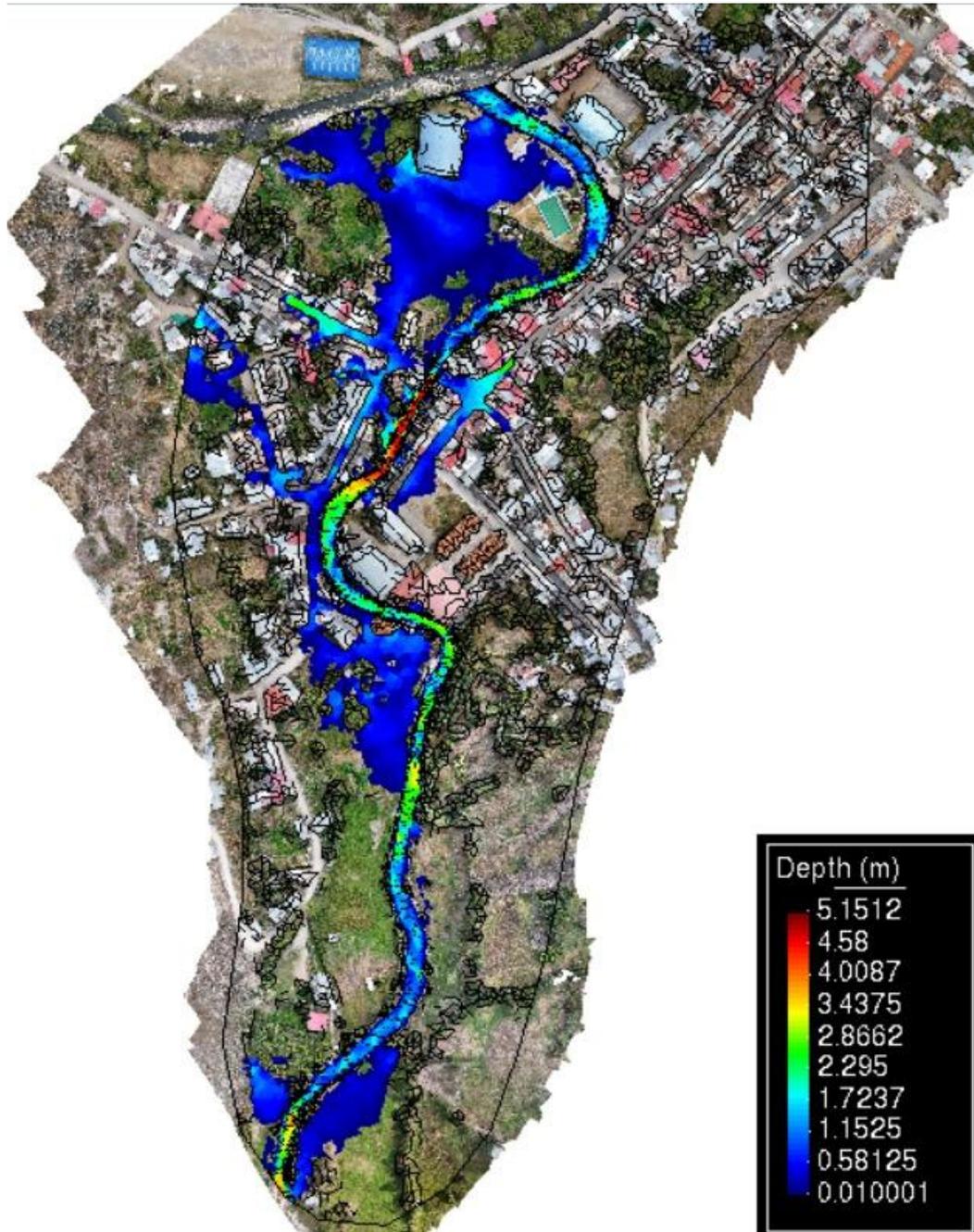


4.6.2. Modelamiento para TR=70 años

a) Tirante de agua

Para el periodo de retorno de 70 años, el tirante máximo tiene un valor de 5,15 metros en el paso de 1000 segundos en el cauce del río y en las áreas inundadas oscilo ente 0.01 a 1.78 metros, como se muestra en la figura:

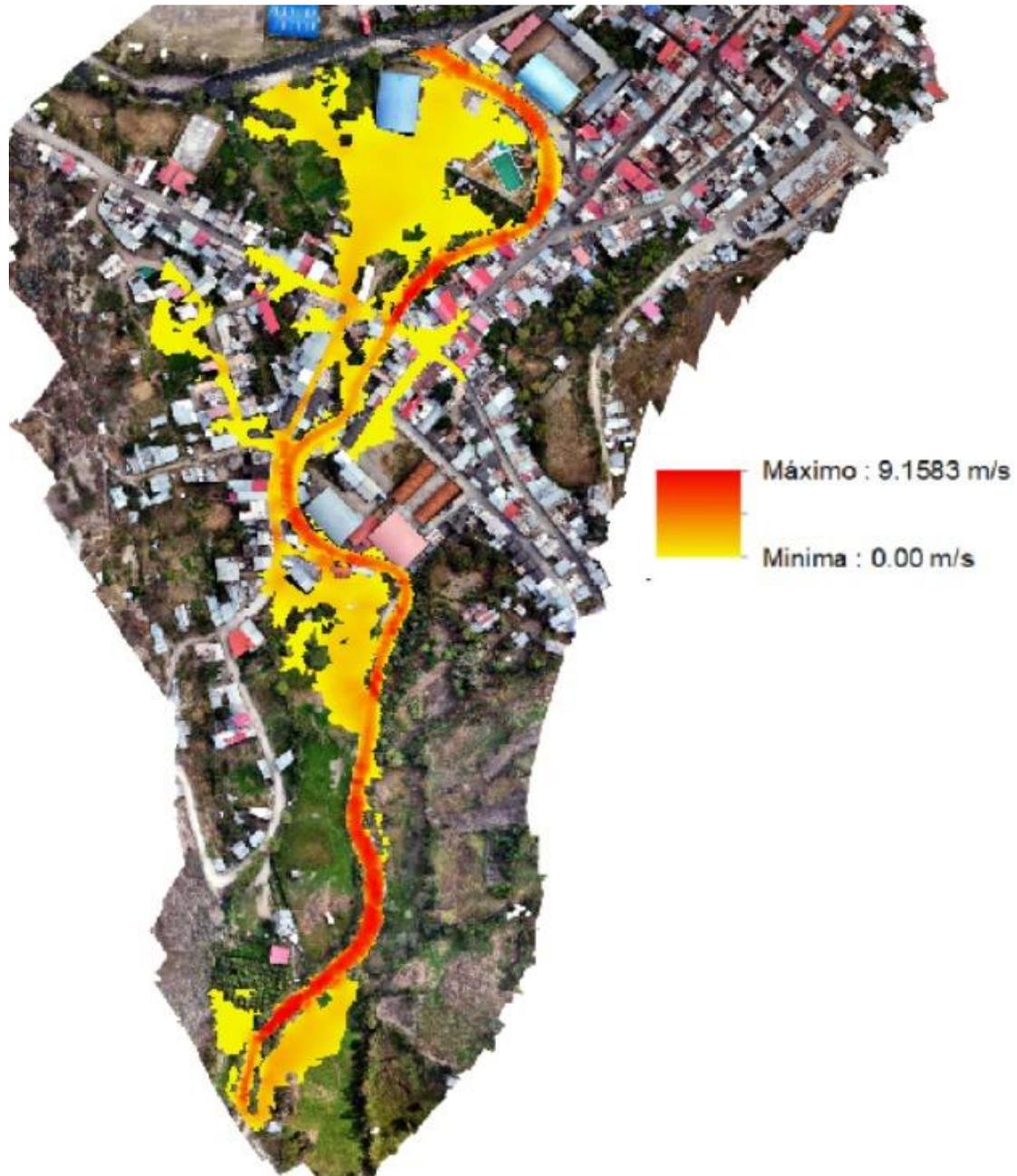
Figura 97 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=70 años



b) Velocidades

Para el periodo de retorno de 70 años, la velocidad máxima registrada tiene un valor de 9.1583 m/s en el paso de 1 000 segundos en el cauce principal de río Jalqueño y en las áreas inundadas oscilo entre 0.00 m/s y 4.15 m/s dichas como se muestran en la figura:

Figura 98 Velocidades en el área de estudio para TR=70 años

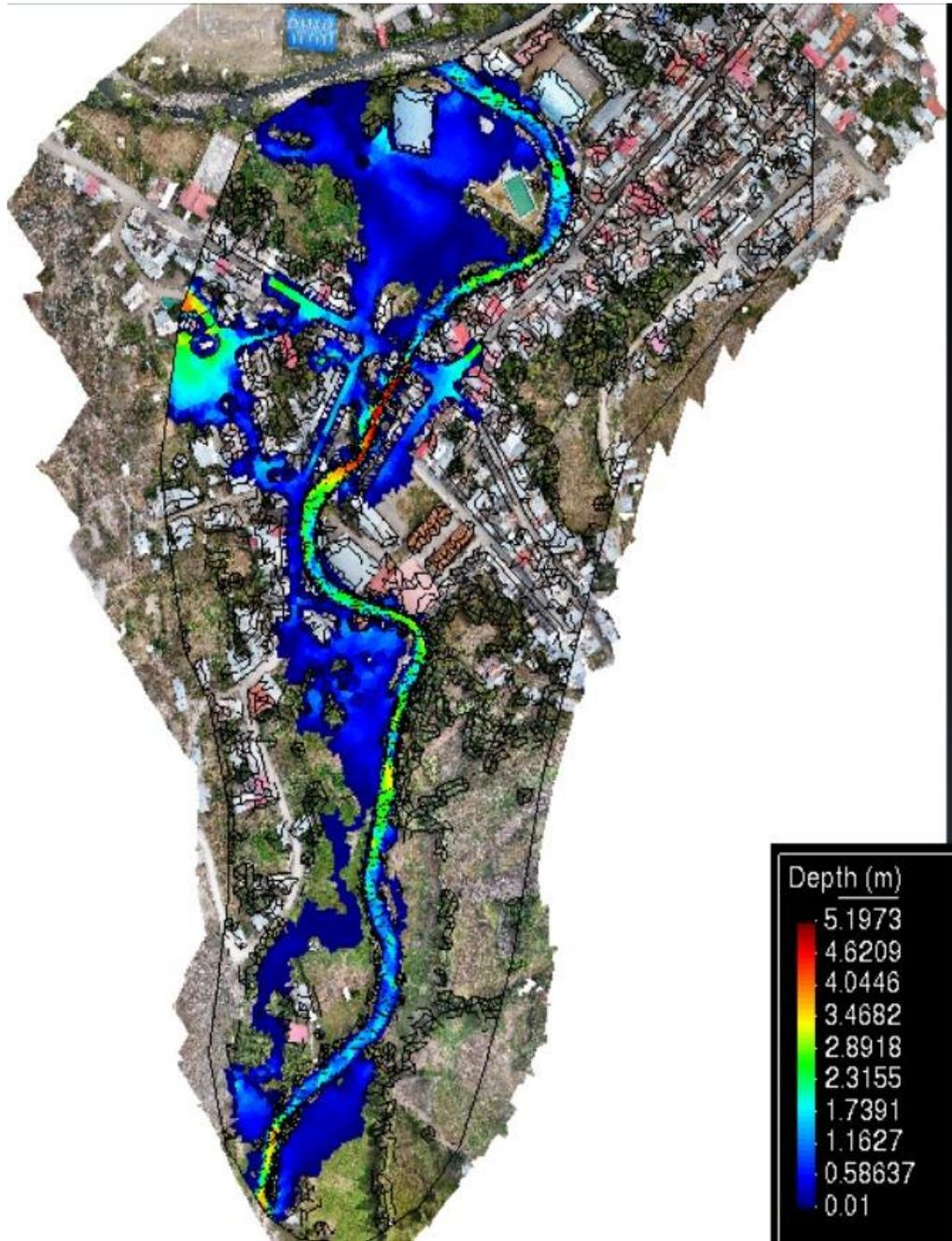


4.6.3. Modelamiento para TR=100 años

c) Tirante de agua

Para el periodo de retorno de 100 años, el tirante máximo tiene un valor de 5,19 metros en el paso de 1000 segundos en el cauce del río y en las áreas inundadas oscilo ente 0.01 a 1.92 metros, como se muestra en la figura:

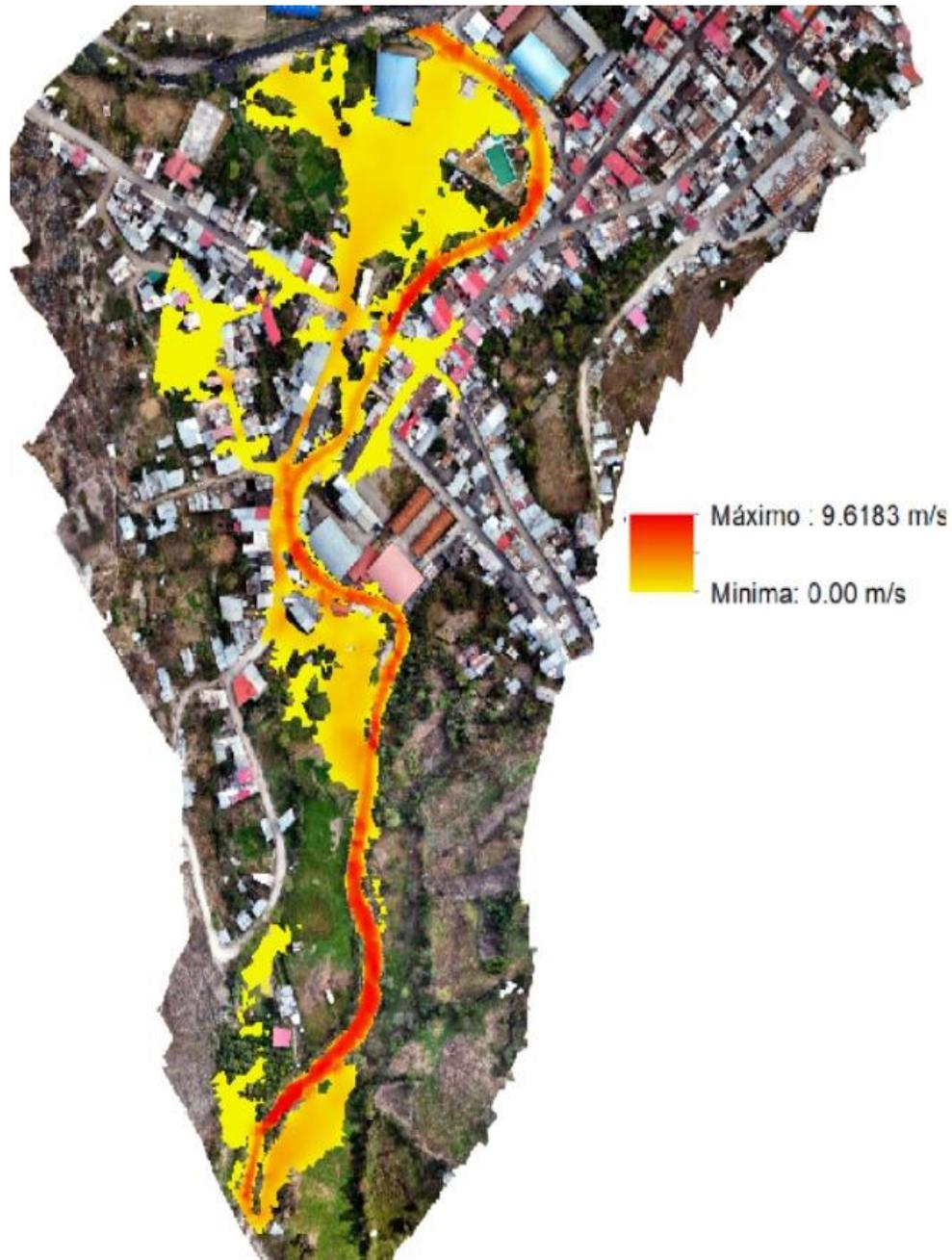
Figura 99 Tirantes (Calado) en el área de estudio para $Tr=100$ años



d) Velocidades

Para el periodo de retorno de 100 años, la velocidad máxima registrada tiene un valor de 9.6183 m/s en el paso de 1 000 segundos en el cauce principal de río Jalqueño y en las áreas inundadas oscilo entre 0.00 m/s y 4.32 m/s dichas como se muestran en la figura:

Figura 100 *Velocidades en el área de estudio para TR=100 años*

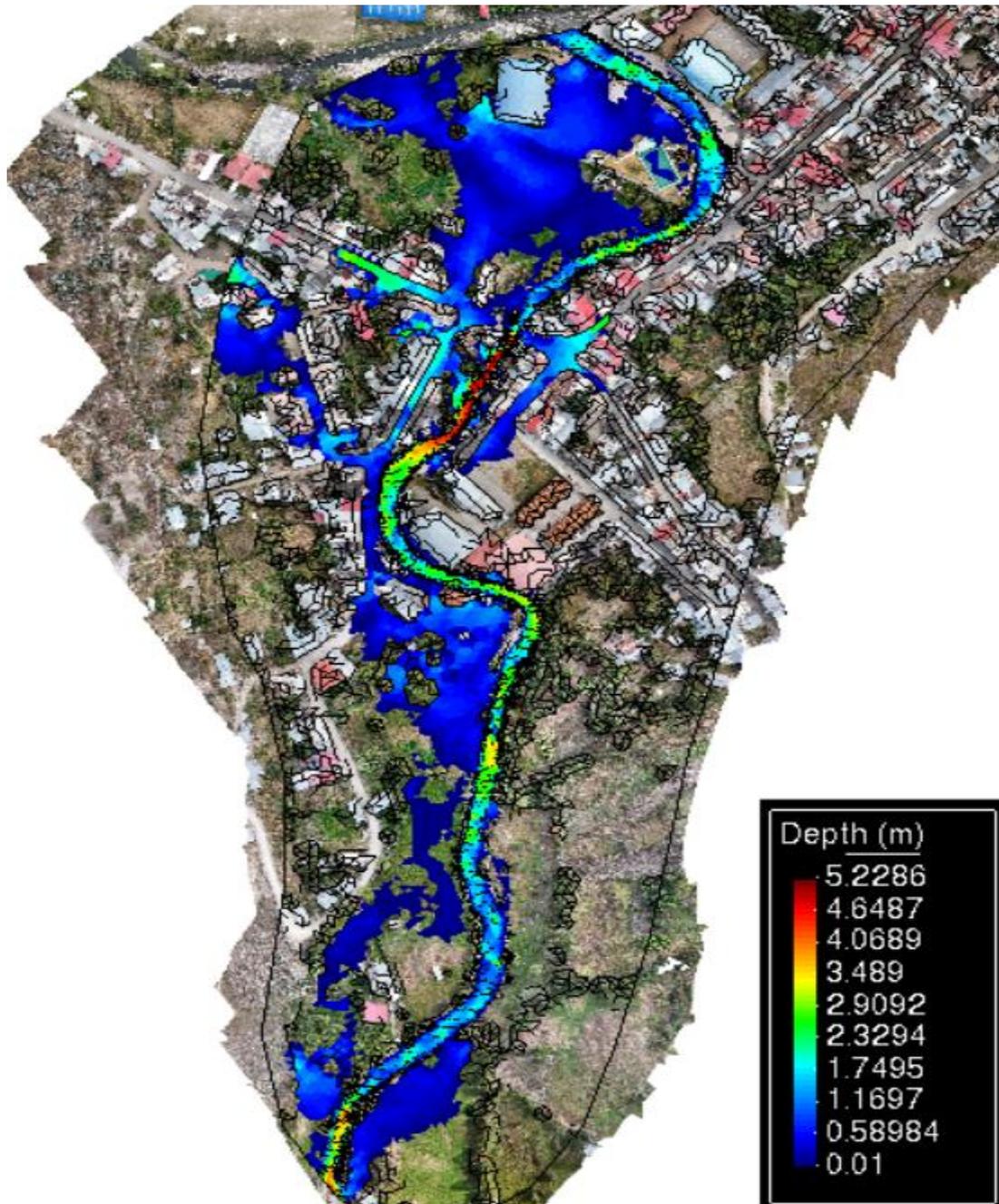


4.6.4. Modelamiento para Tr=150 años

a) Tirante de agua

Para el periodo de retorno de 150 años, el tirante máximo tiene un valor de 5,22 metros en el paso de 1000 segundos en el cauce del río y en las áreas inundadas oscilo ente 0.1 a 1.98 metros, como se muestra en la figura:

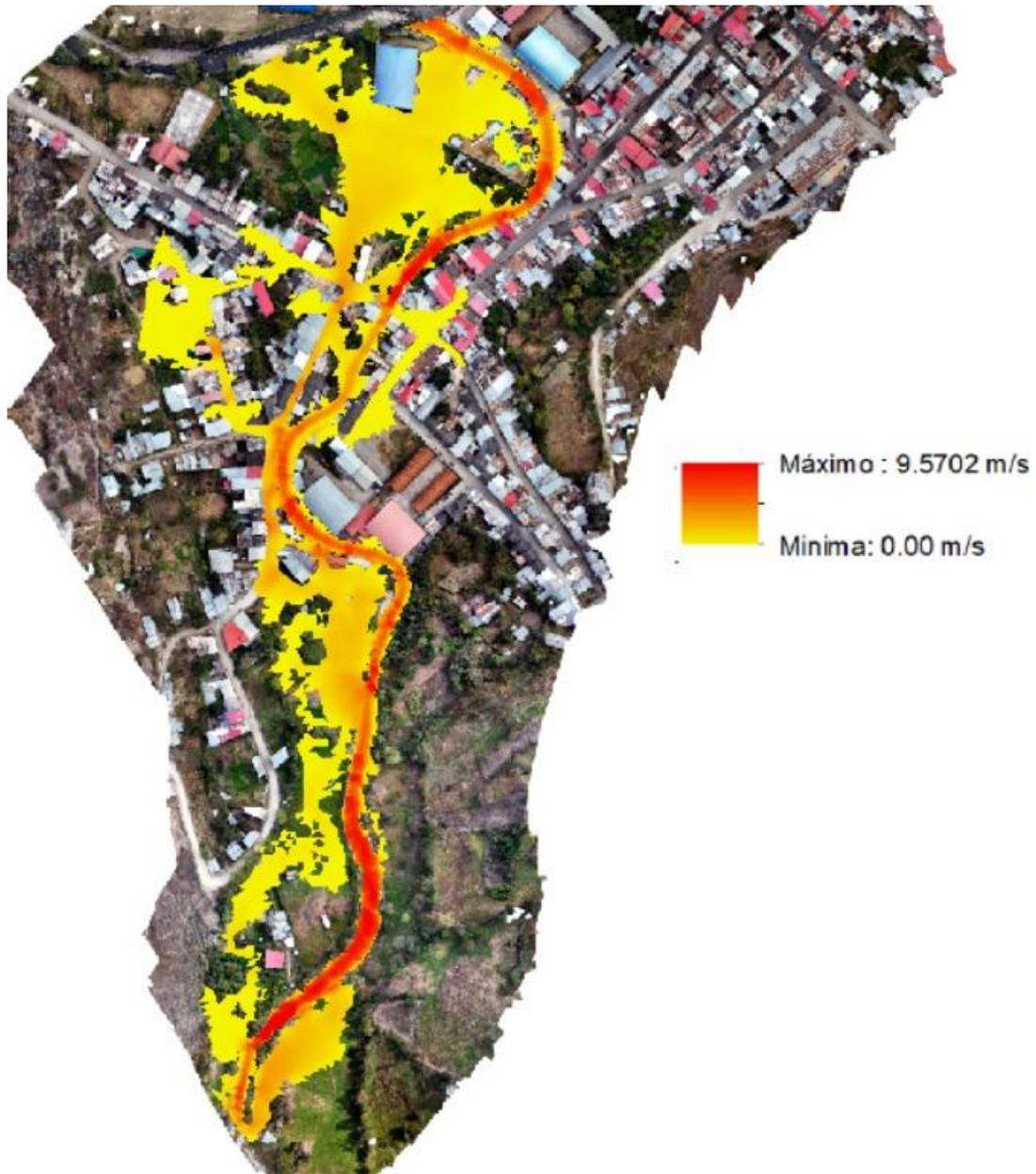
Figura 101 Tirantes (Calado) en el área de estudio para $TR=150$ años



b) Velocidades

Para el periodo de retorno de 150 años, la velocidad máxima registrada tiene un valor de 9.5702 m/s en el paso de 1 000 segundos en el cauce principal de río Jalqueño y en las áreas inundadas oscilo entre 0.00 m/s y 4.58 m/s dichas como se muestran en la figura:

Figura 102 Velocidades en el área de estudio para $TR=150$ años

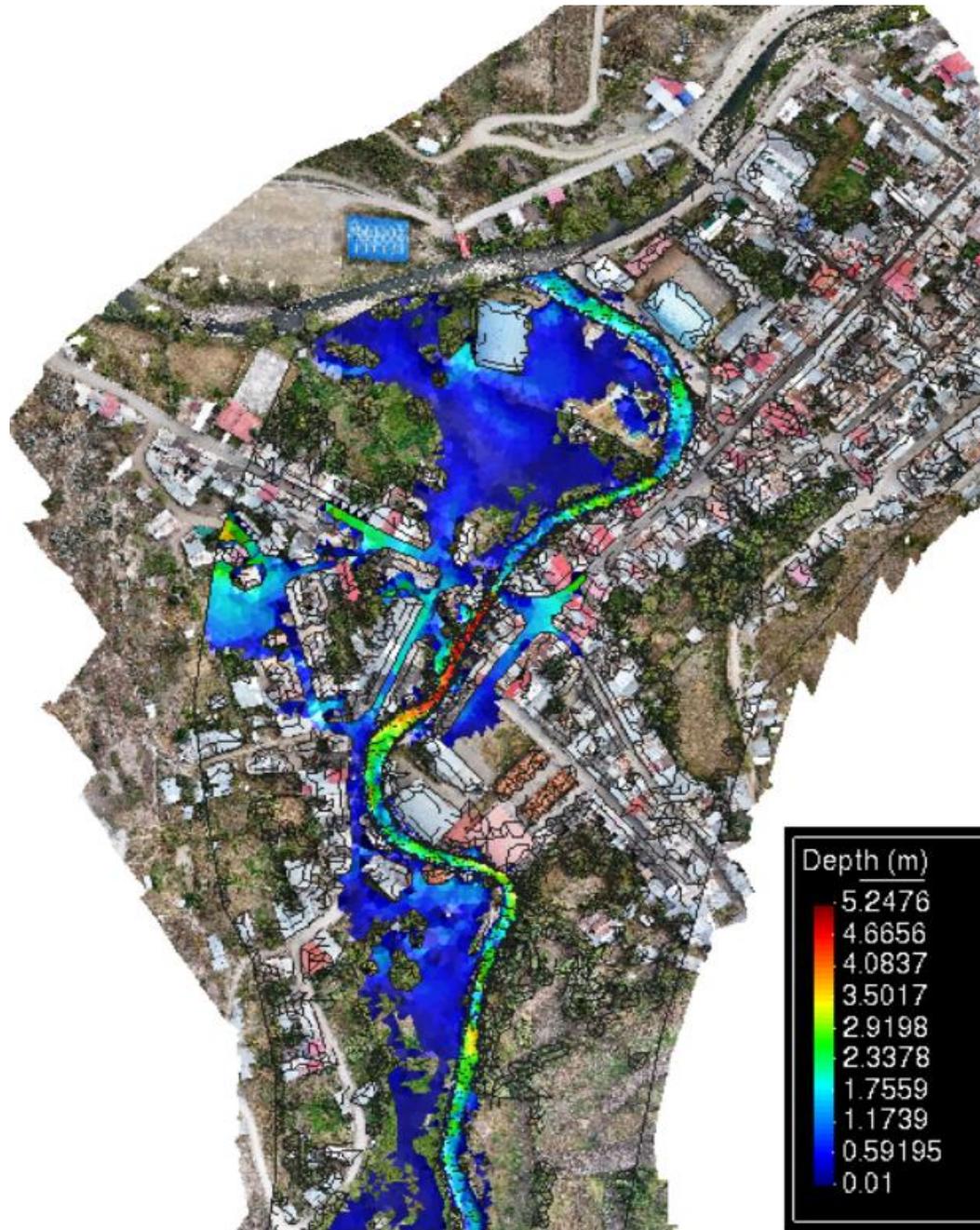


4.6.5. Modelamiento para $TR=200$ años

a) Tirante de agua

Para el periodo de retorno de 200 años, el tirante máximo tiene un valor de 5,24 metros en el paso de 1000 segundos en el cauce del río y en las áreas inundadas oscilo ente 0.1 a 2.04 metros, como se muestra en la figura:

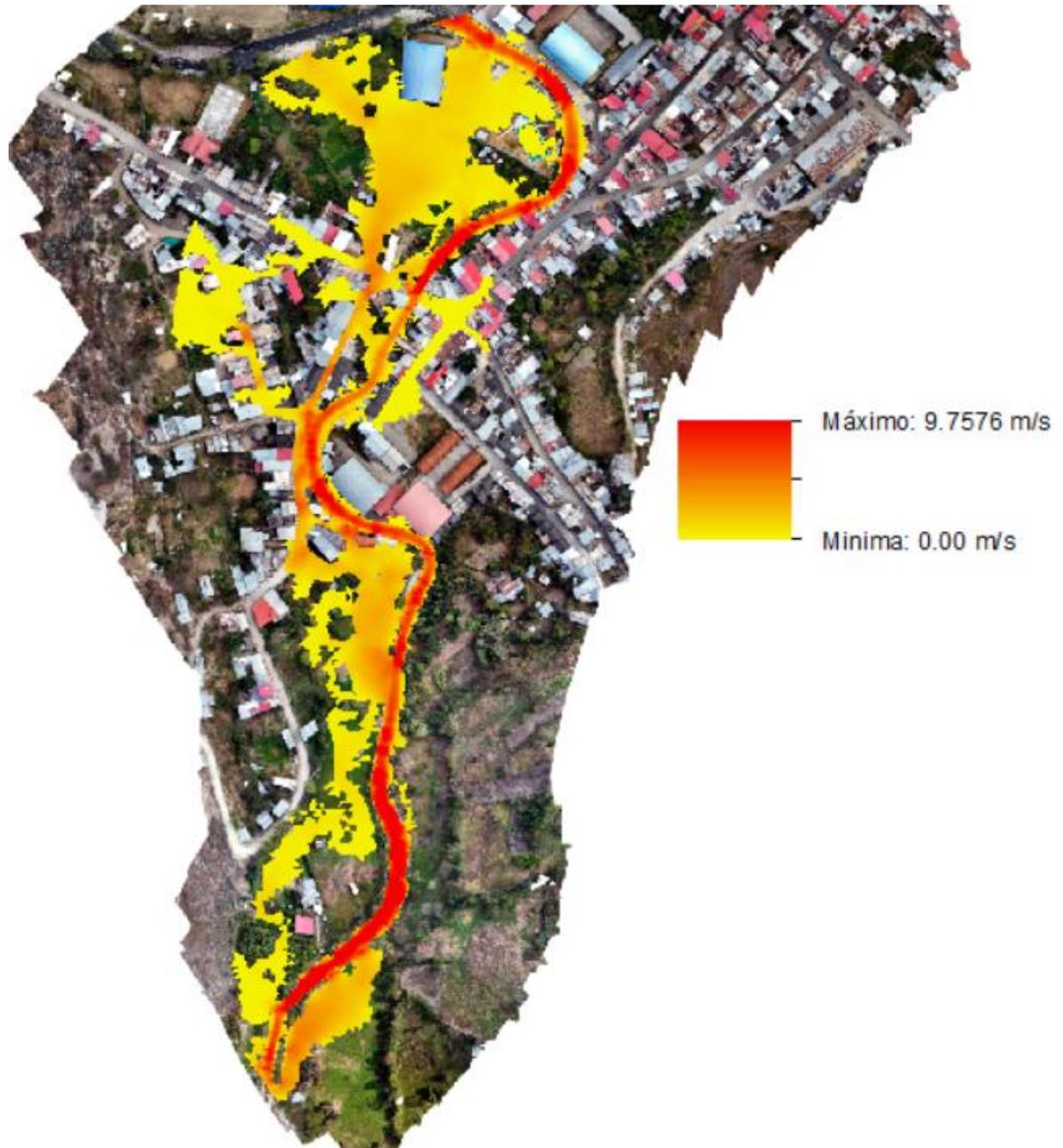
Figura 103 Tirantes (Calado) en el área de estudio para TR=200 años



b) Velocidades

Para el periodo de retorno de 200 años, la velocidad máxima registrada tiene un valor de 9.7576 m/s en el paso de 1 000 segundos en el cauce principal de río Jalqueño y en las áreas inundadas oscilo entre 0.00 m/s y 4.68 m/s dichas como se muestran en la figura:

Figura 104 *Velocidades en el área de estudio para TR=200 años*



4.7. Mapas de peligrosidad

Una vez obtenidos los tirantes y las velocidades máximas para cada periodo de retorno, se utilizó el software ArcGIS para combinar esta información mediante el producto de la velocidad y la profundidad obteniéndose el nivel de peligrosidad según la escala de inundaciones dinámicas del INDECI:

Tabla 28 Niveles de peligrosidad para áreas inundadas

NIVELES DE INTENSIDAD	PROFUNDIDAD X VELOCIDAD DEL FLUJO (m ² /s)	ÁREA (m ²)				
		Tiempo de retorno (Años)				
		50	70	100	150	200
BAJA	< 0.25	8327.56	8948.54	11484.62	12099.92	12971.19
MEDIA	0.25 - 0.50	3463.41	3842.21	3765.43	5396.93	5484.27
ALTA	0.50 - 1.50	11907.27	12310.27	12276.59	12833.18	12729.41
MUY ALTA	> 1.50	3112.60	3378.63	3906.61	5159.22	5322.33
TOTAL		26810.84	28479.65	31433.25	35489.24	36507.20

Las áreas inundadas según la caracterización para los distintos periodos de retorno son:

Tabla 29 Áreas inundadas para TR=50 años

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	95.41	102.01	398.18	56.95	652.55
Arbustos	1565.30	470.40	4024.43	1637.44	7697.57
Concreto	936.07	169.20	1019.18	1085.80	3210.25
Cultivo	427.49	0.00	0.00	0.00	427.49
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7814.76	7814.76
Pasto	1890.06	1782.05	4014.61	74.96	7761.68
Vegetación dispersa	43.22	135.11	795.75	0.00	974.08
Zona urbana	2538.65	165.35	319.67	231.05	3254.72
Zona urbana Discontinua	831.36	639.29	1335.45	26.40	2832.50
TOTAL (m²)	8327.56	3463.41	11907.27	10927.36	34625.60

Tabla 30 Áreas inundadas para TR=70 años

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	115.17	97.79	394.21	58.97	666.14
Arbustos	1708.45	504.49	3999.64	1724.72	7937.30
Concreto	1017.42	292.40	989.68	1209.49	3508.99
Cultivo	536.05	105.24	0.00	0.00	641.29
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7838.21	7838.21
Pasto	1562.75	1947.32	4323.77	96.44	7930.28
Vegetación dispersa	45.02	132.53	812.09	0.00	989.64
Zona urbana	2717.47	170.91	329.03	260.77	3478.18
Zona urbana discontinua	1246.21	591.53	1461.85	28.24	3327.83
TOTAL (m²)	8948.54	3842.21	12310.27	11216.84	36317.86

Tabla 31 Áreas inundadas para TR=100 años

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	115.97	95.54	365.86	68.71	646.08
Arbustos	2704.58	495.27	3971.80	1956.84	9128.49
Concreto	1269.71	299.66	865.45	1379.60	3814.41
Cultivo	1297.25	4.25	0.00	0.00	1301.50
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7899.33	7899.33
Pasto	1559.50	1929.85	4443.57	169.65	8102.57
Vegetación dispersa	39.75	134.61	779.63	0.00	953.99
Zona urbana	3118.62	197.77	322.05	303.61	3942.04
Zona urbana discontinua	1379.24	608.48	1528.24	28.20	3544.16
TOTAL (m²)	11484.62	3765.43	12276.59	11805.93	39332.57

Tabla 32 Áreas inundadas para TR=150 años

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	147.08	109.75	379.42	75.10	711.34
Arbustos	3718.38	1729.87	3814.79	2828.66	12091.70
Concreto	1146.73	279.74	880.68	1581.07	3888.22
Cultivo	1283.45	25.83	0.93	0.00	1310.22
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7954.06	7954.06
Pasto	1169.68	2105.03	4863.39	320.54	8458.63
Vegetación dispersa	45.55	147.70	794.26	0.00	987.51
Zona urbana continua	3119.40	249.37	392.99	325.15	4086.92
Zona urbana discontinua	1469.64	749.64	1706.72	28.70	3954.70
TOTAL (m²)	12099.92	5396.93	12833.18	13113.28	43443.31

Tabla 33 Áreas inundadas para TR=200 años

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	156.22	119.40	378.42	76.10	730.13
Arbustos	4205.20	1805.36	3725.88	2929.27	12665.71
Concreto	1160.14	282.18	863.28	1639.01	3944.62
Cultivo	1284.45	23.83	0.93	0.00	1309.22
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7959.06	7959.06
Pasto	1198.26	2108.03	4865.26	320.54	8492.08
Vegetación dispersa	48.59	147.71	796.21	0.00	992.51
Zona urbana continua	3286.51	252.49	392.33	328.67	4260.00
Zona urbana discontinua	1631.81	745.26	1707.09	28.75	4112.91
TOTAL (m²)	12971.19	5484.27	12729.41	13281.40	44466.26

Los niveles de peligrosidad fueron sobrepuestos en la Ortofoto como se muestran a continuación en las figuras.

Figura 105 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para $Tr=50$ años

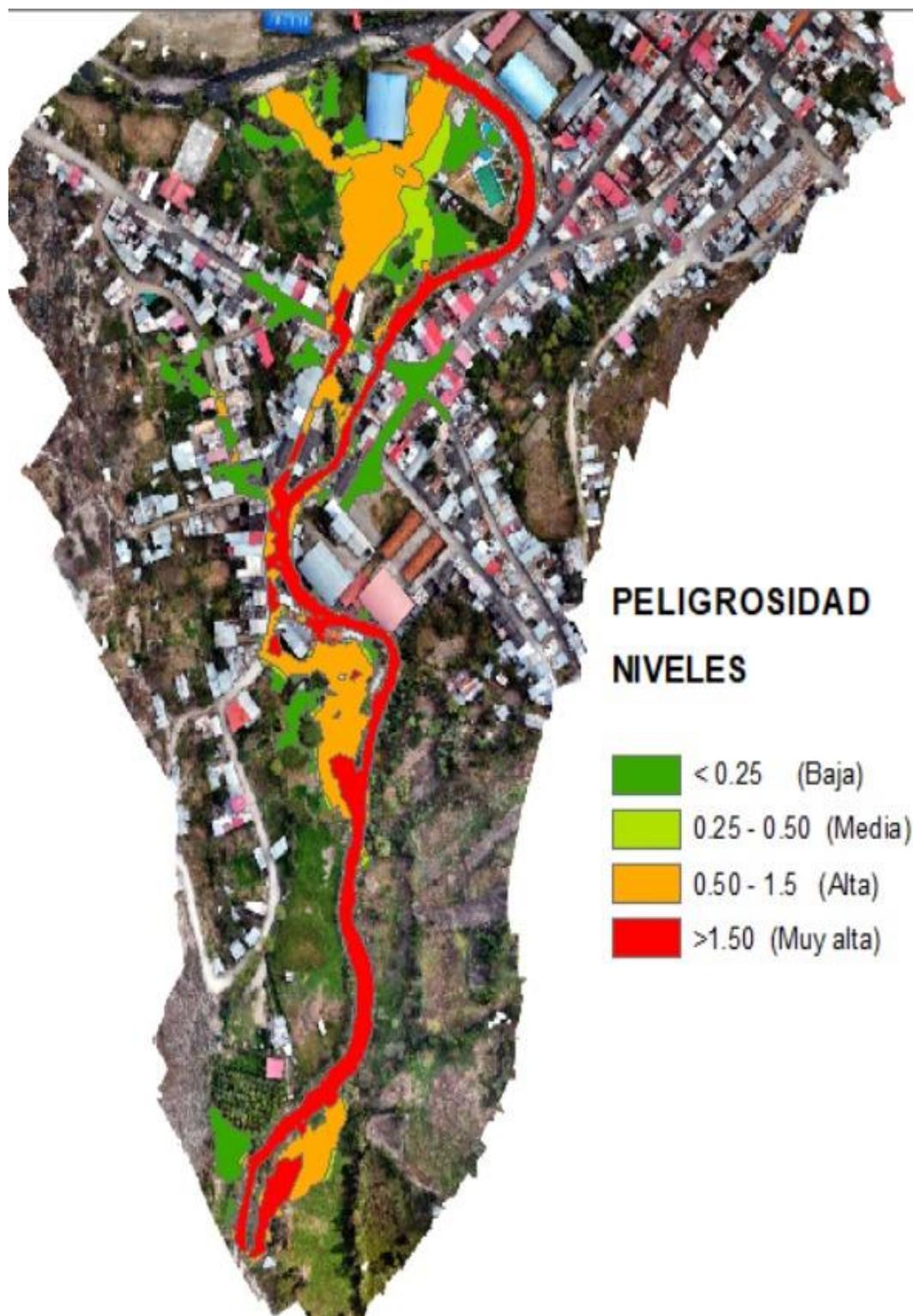


Figura 106 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para $Tr=70$ años

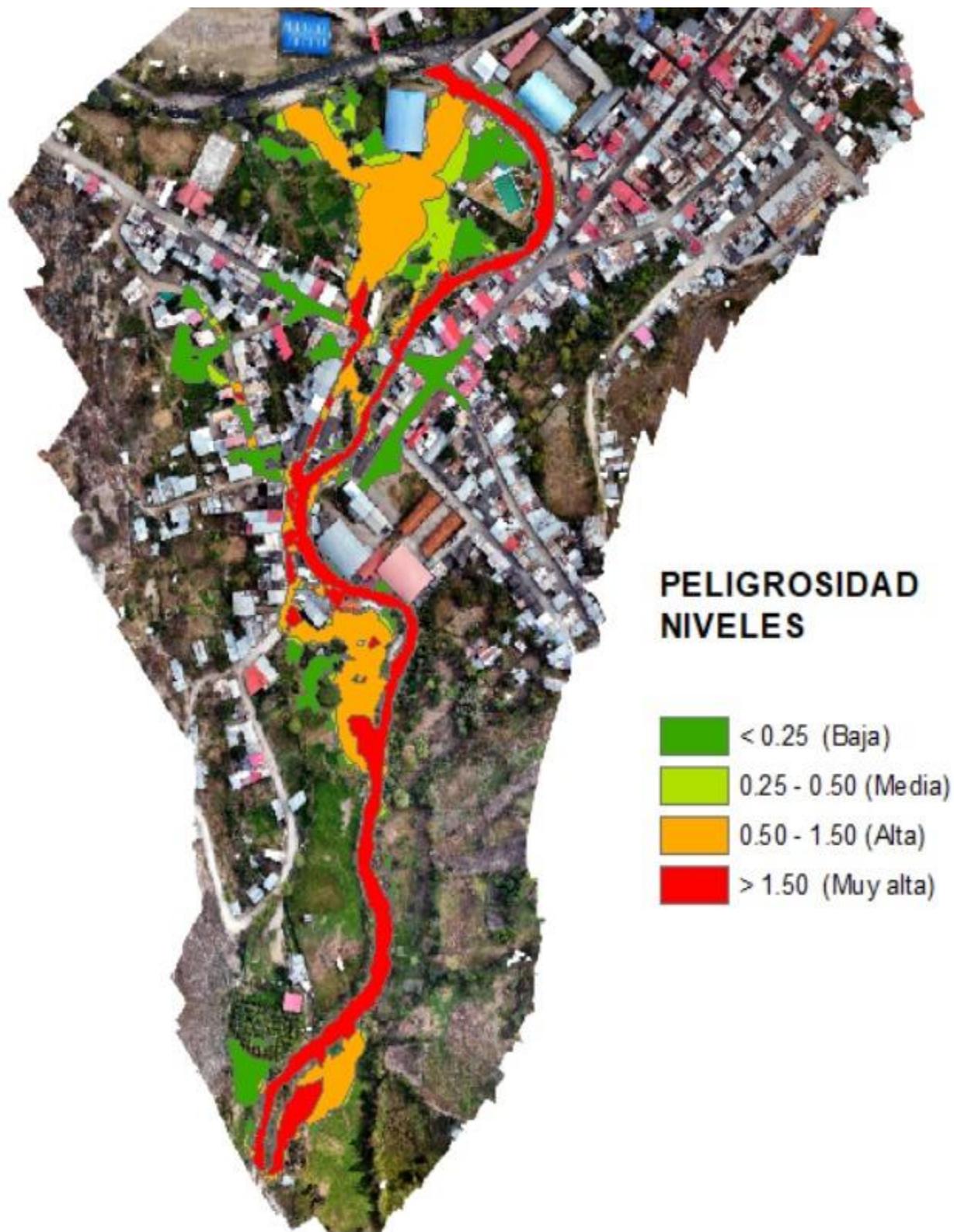


Figura 107 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para $Tr=100$ años

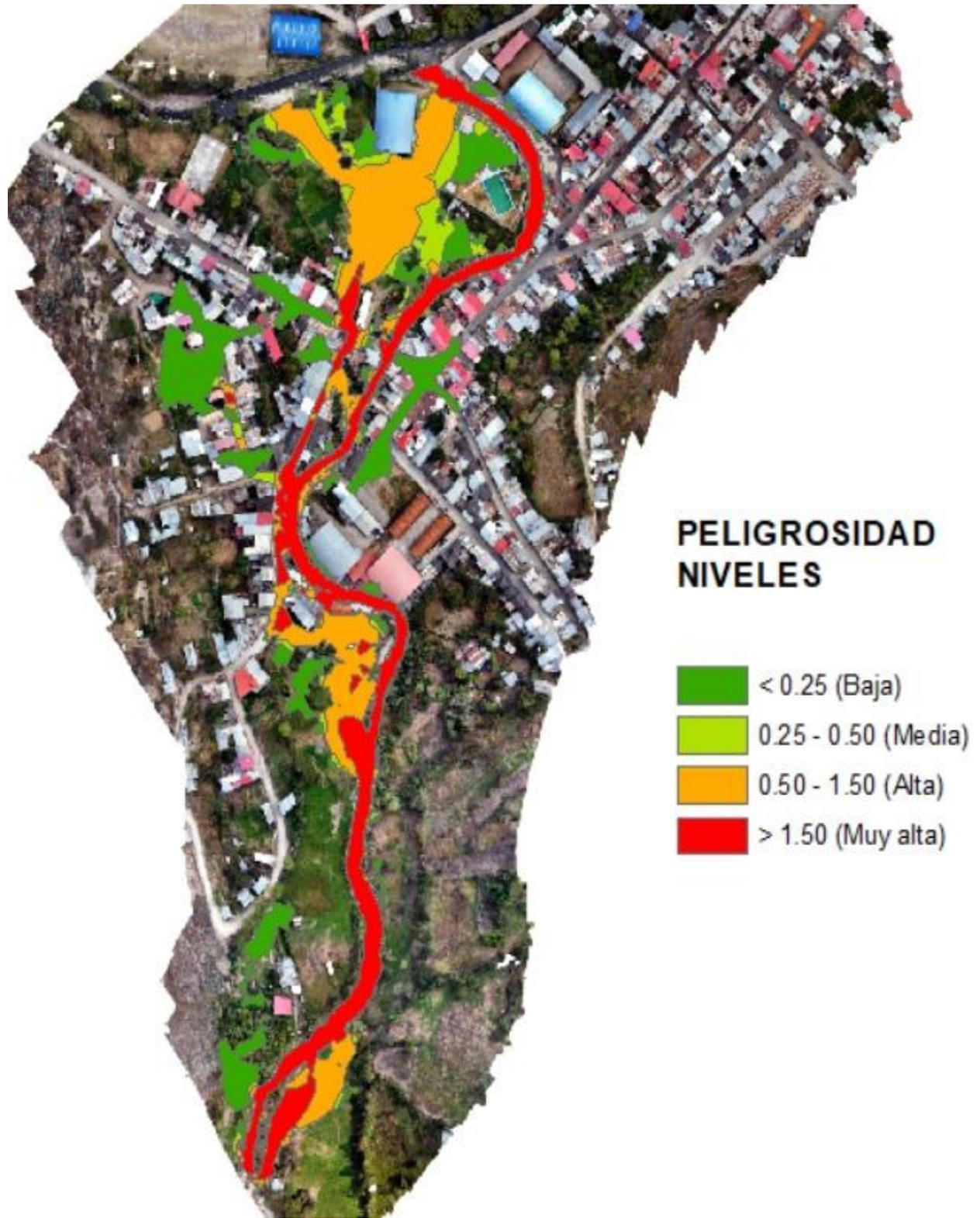


Figura 108 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para $Tr=150$ años

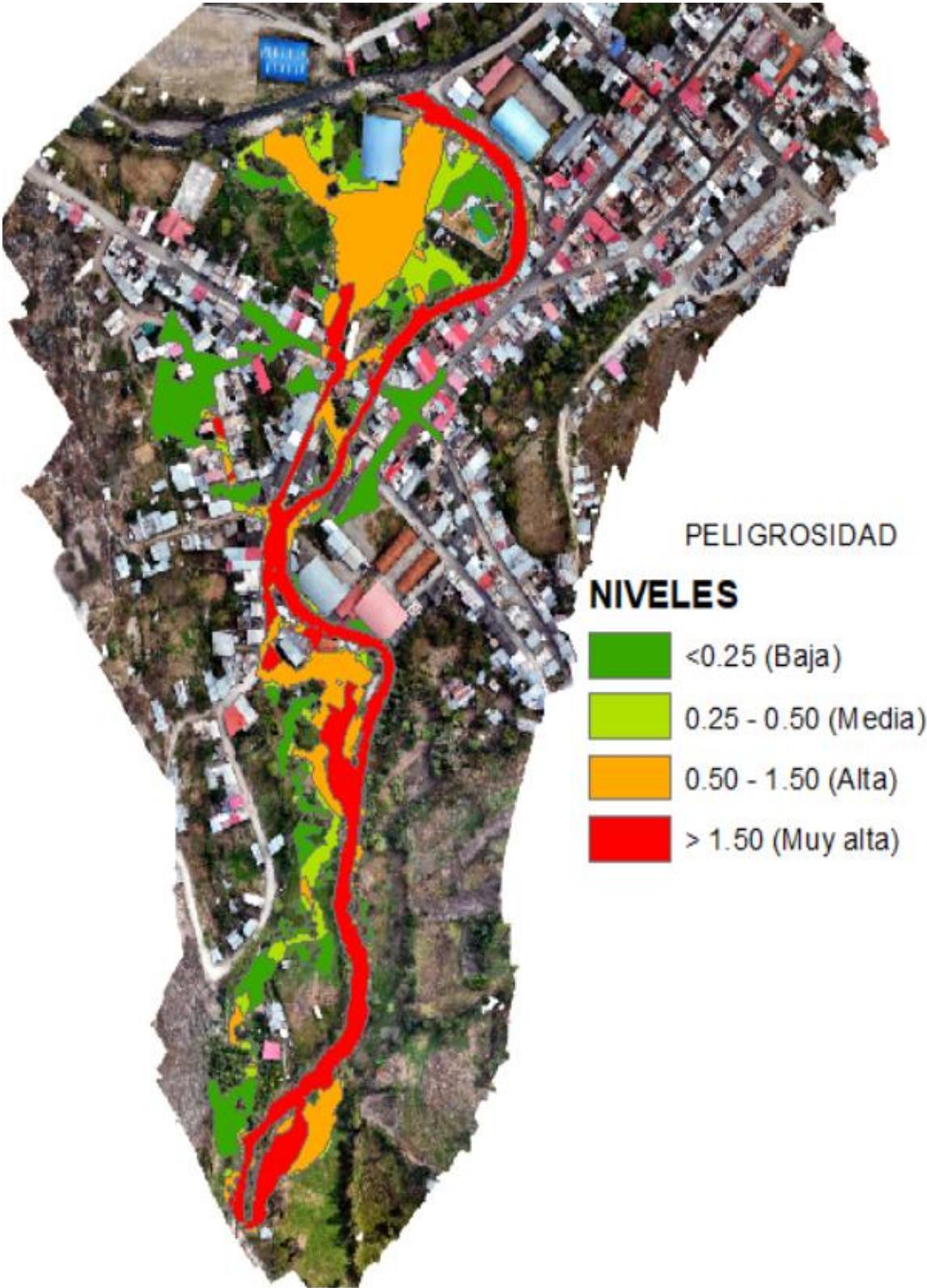


Figura 109 Niveles de peligrosidad en el área de estudio para $Tr=200$ años

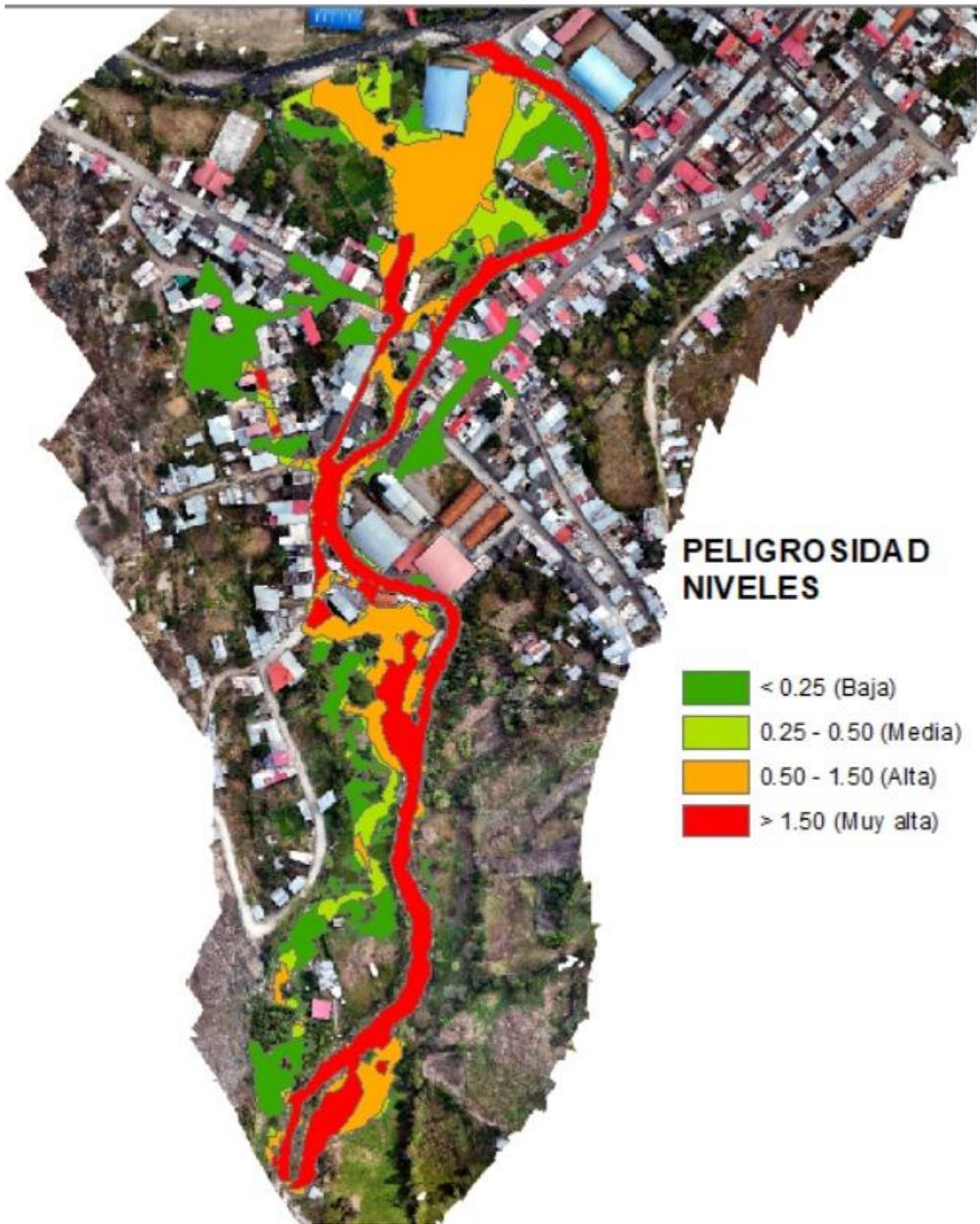


Figura 110 Mapa de inundaciones con niveles peligrosidad para Tr=50 años

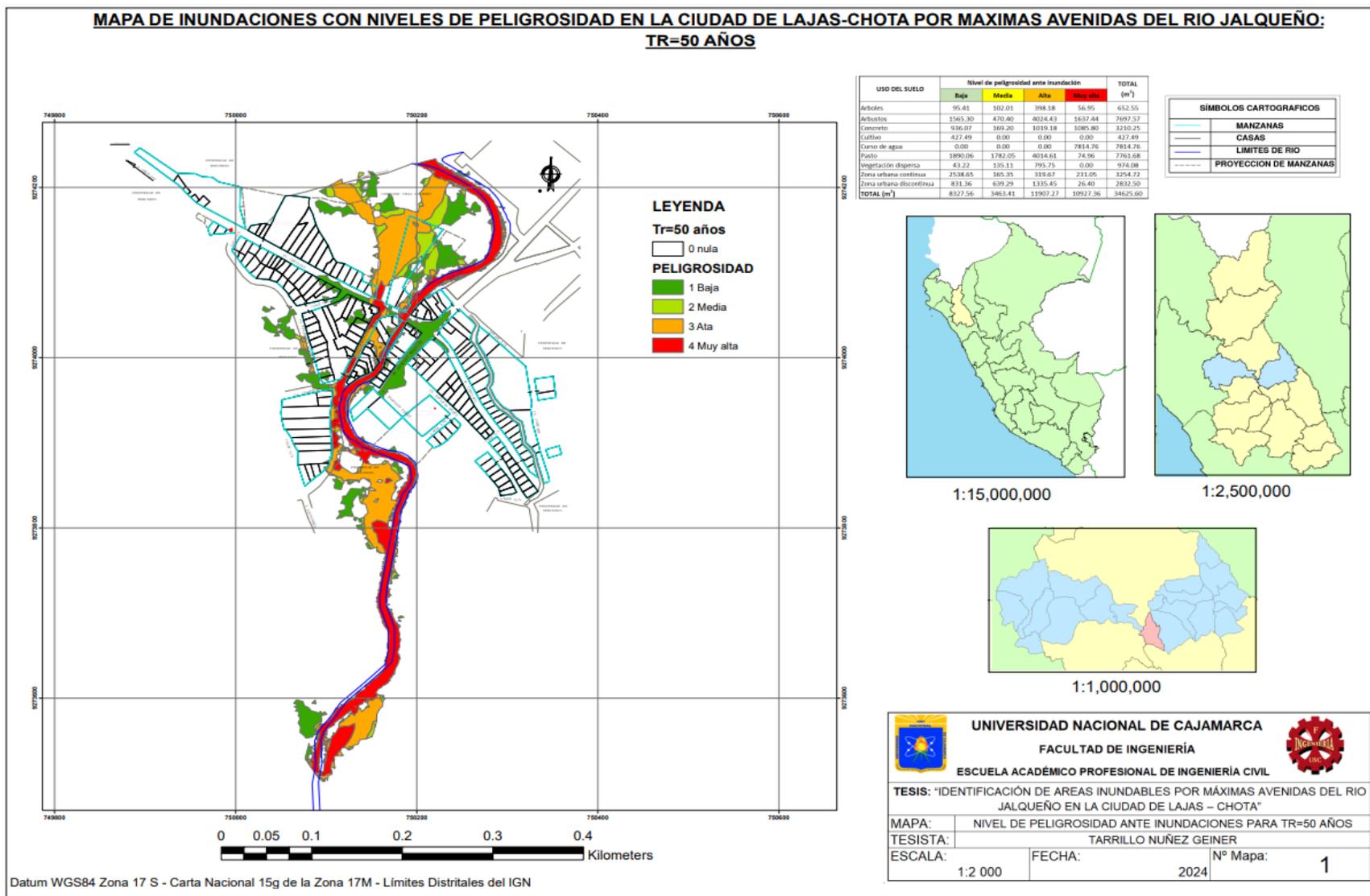


Figura 111 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para $Tr=70$ años

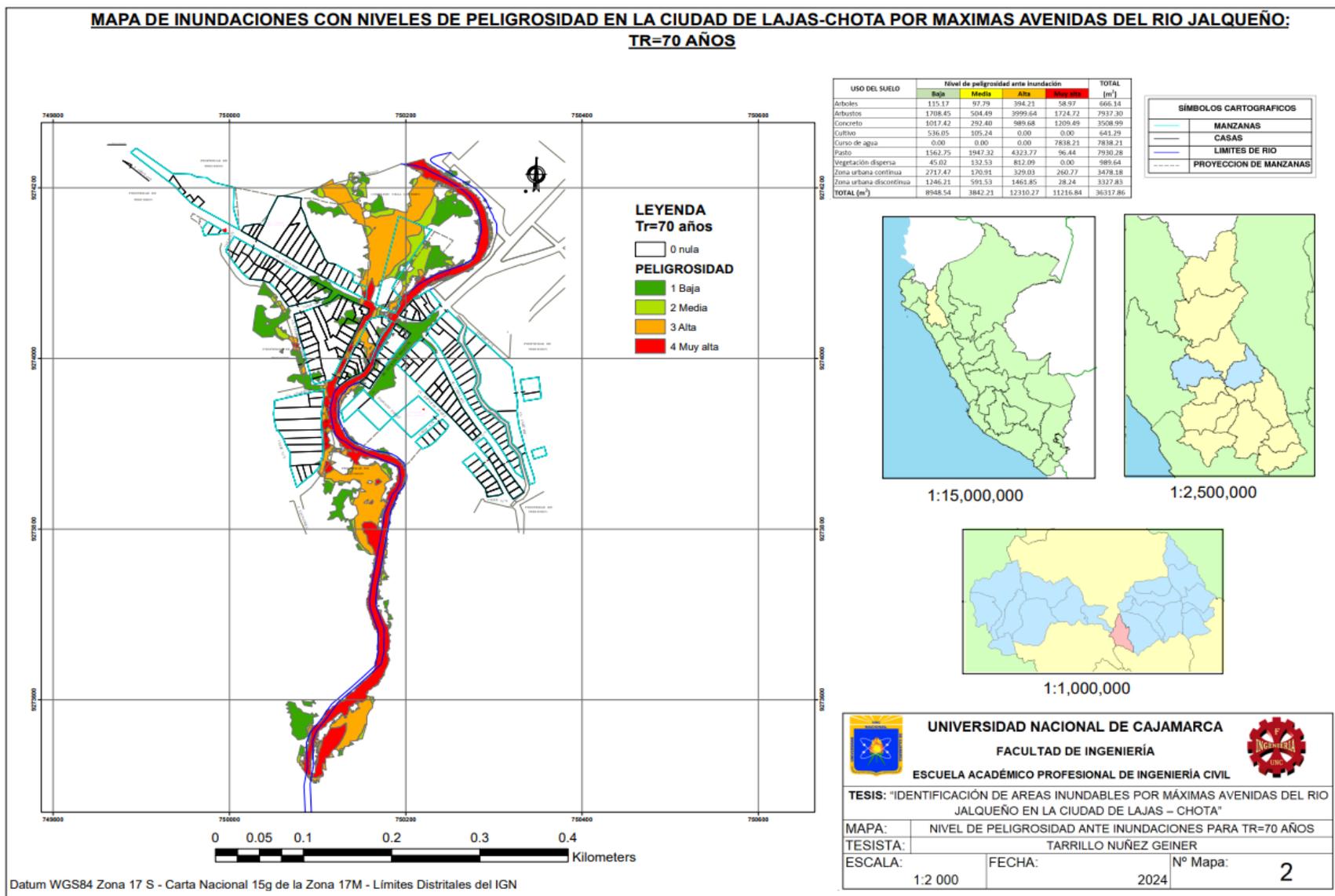


Figura 112 Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para $Tr=100$ años

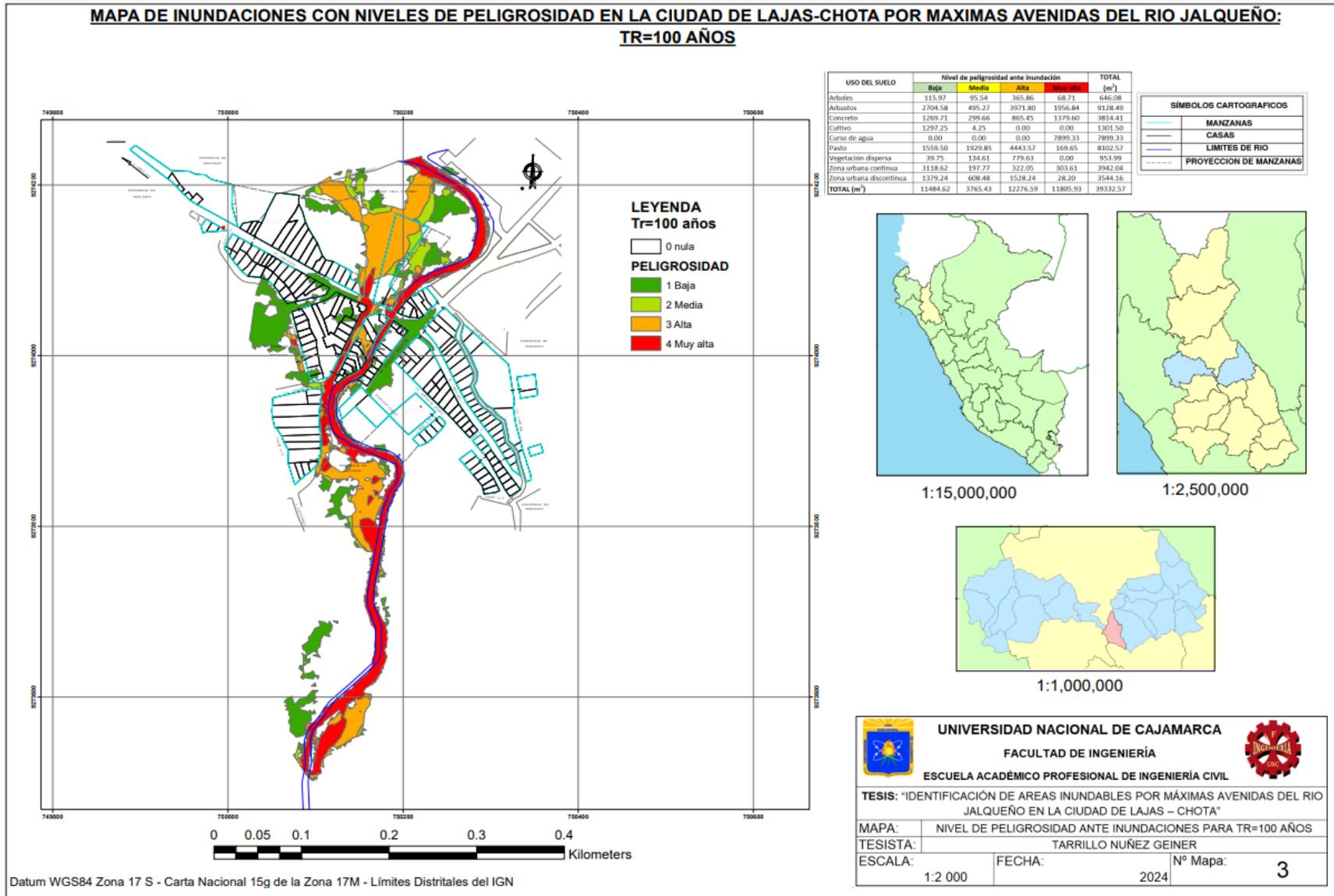


Figura 113: Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para $Tr=150$ años

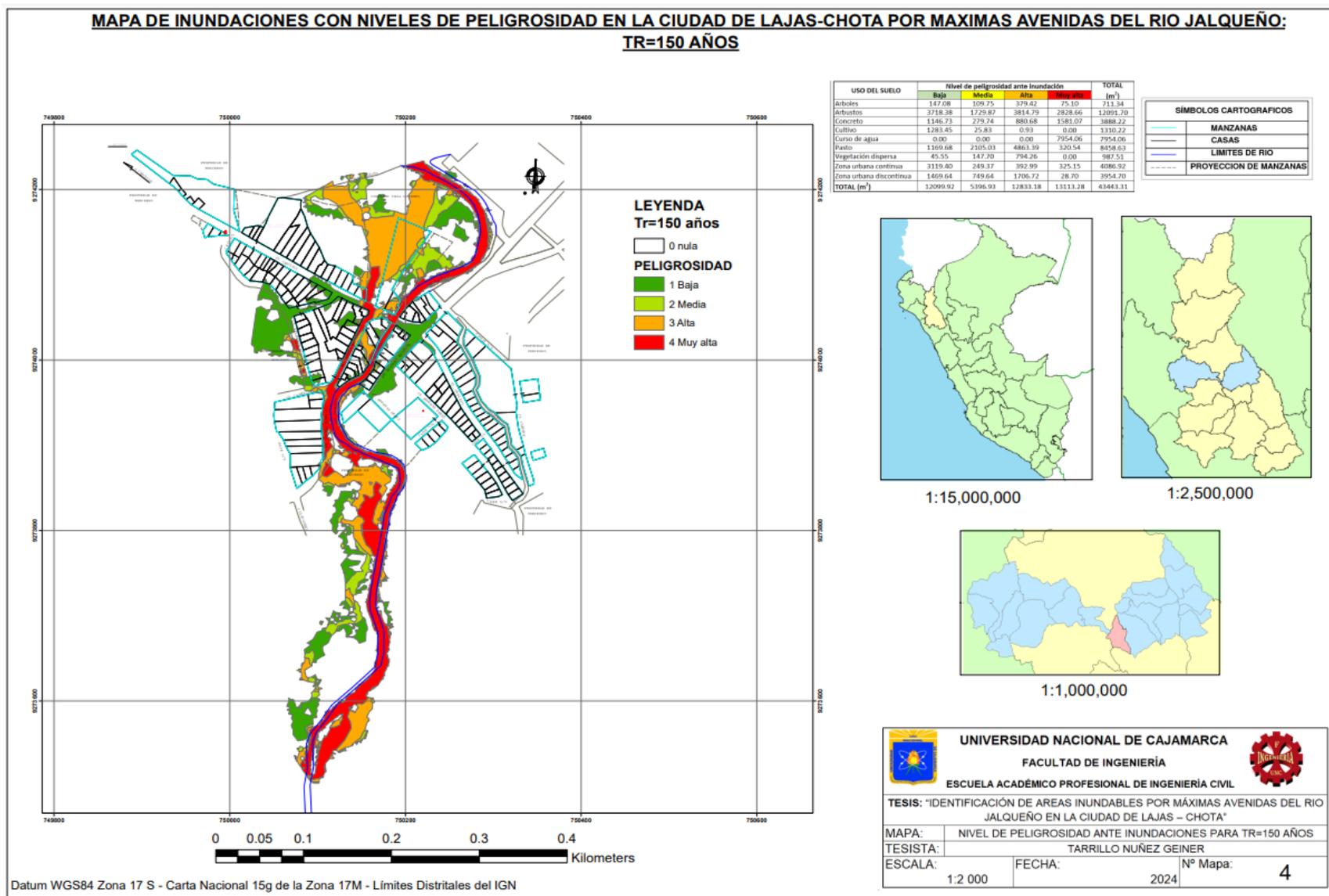
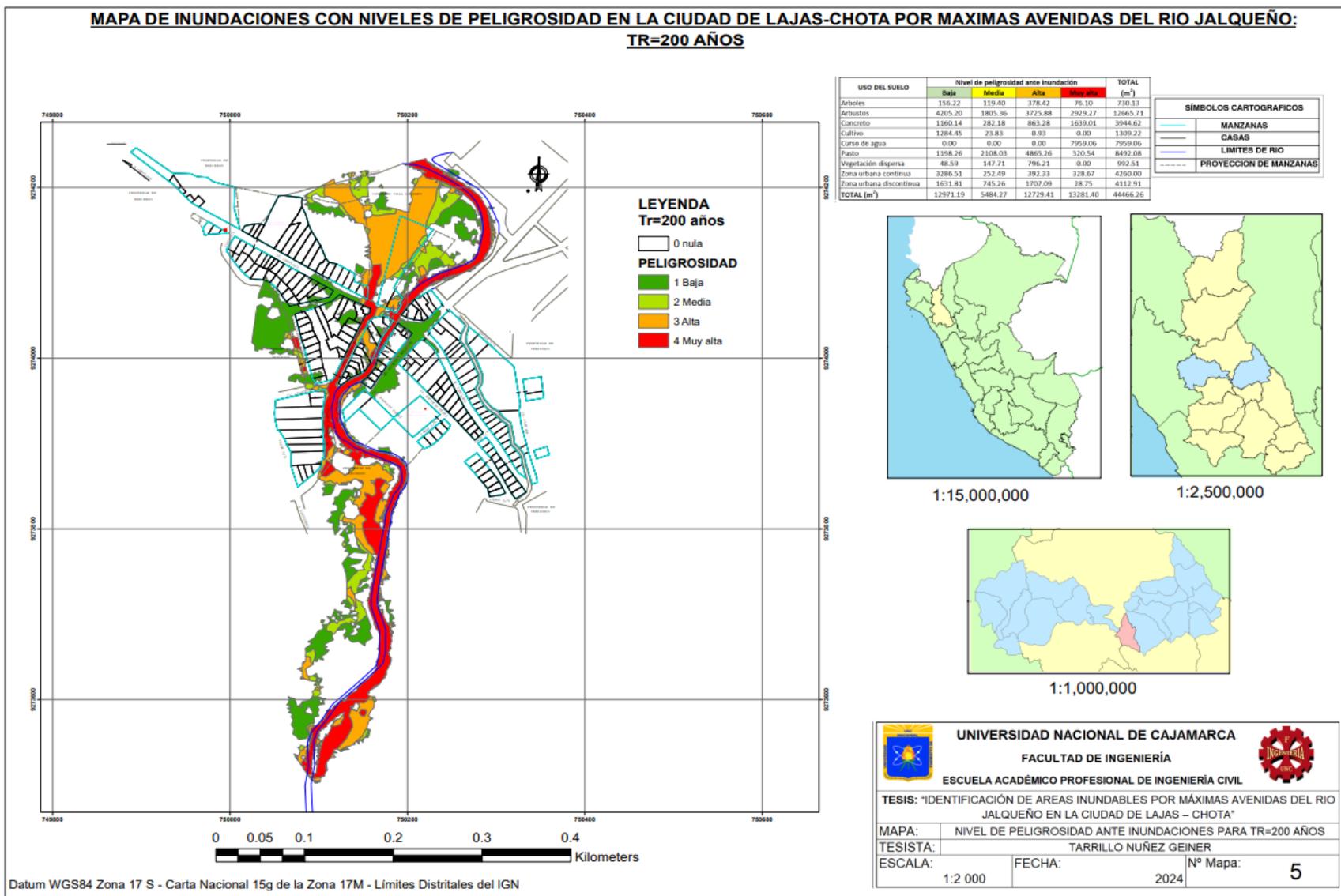


Figura 114: Mapa de inundaciones con niveles de peligrosidad para $Tr=200$ años



4.8. Discusión de resultados

➤ **Información hidrología y cartográfica**

Para esta investigación, se utilizó exclusivamente la información hidrológica de la estación meteorológica Chotano Lajas, única que se encuentra dentro de la cuenca de estudio y que cuenta con un registro de 34 años. La precipitación mínima se registró en 1993, con un valor de 25.8 mm, mientras que la precipitación máxima ocurrió en 1998, alcanzando los 69.1 mm. A diferencia del estudio de Sáenz, F. (2021), que recopiló datos de cuatro estaciones debido a la mayor extensión de la cuenca hidrográfica en análisis, nuestra investigación se centra únicamente en esta estación existente en la cuenca.

En cuanto a la información cartográfica, (Aparicio, C. 2021) uso la carta 15 g, para nuestra investigación se utilizó la carta nacional 14f, para el levantamiento topográfico utilizó Estación Total e imágenes satelitales, en esta investigación se utilizó GPS diferencial y se incorporaron imágenes aéreas u ortofotos.

➤ **Modelamiento hidrológico**

Para el modelamiento hidrológico, se determinaron de los parámetros forma, relieve de la cuenca del río Jalqueño. Teniendo como parámetro principal el del área de la cuenca igual a 53.86 km².

Para obtener los caudales máximos de diseño, se utilizó el software HEC-HMS, cuyos resultados fueron de 63.4, 67.4, 75.6, 79.5 y 85.7 m³/s para los periodos de retorno de 50, 70, 100, 150 y 200 años, respectivamente.

➤ **Modelamiento Hidráulico**

En la presente investigación, se llevó a cabo el modelamiento hidráulico utilizando el software Iber para los periodos de retorno de 50 años cuyo caudal es de 63.4 m³/s siendo estos el resultado de la calibración de la zona, resultando áreas de inundación con tirantes de 0.01m a 1.76m con velocidades de 0.00 m/s a 7.6 m/s siendo las zonas más afectadas mostradas en los mapas de inundaciones: Jr. Andrés Martines, Av. Chiclayo, Jr. Rosendo Mendivel, Jr. Feliberto Barreda, el complejo Villa Lourdes y propiedades de terceros, pertenecientes a los diferentes usos de suelo.

➤ **Mapas de inundación con niveles de peligrosidad**

Para generar los mapas de peligrosidad, se correlacionaron las profundidades y velocidades máximas obtenidas con el software Iber, teniendo en cuenta los niveles de intensidad para inundaciones dinámicas. Este proceso se llevó a cabo en el software ArcGIS, obteniendo las siguientes áreas para el periodo de retorno de 50 años:

NIVELES DE INTENSIDAD	PROFUNDIDAD X VELOCIDAD DEL FLUJO (m²/s)
BAJA	< 0.25
MEDIA	0.25 - 0.50
ALTA	0.50 - 1.50
MUY ALTA	> 1.50

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación TR=50 años				TOTAL (m²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	95.41	102.01	398.18	56.95	652.55
Arbustos	1565.30	470.40	4024.43	1637.44	7697.57
Concreto	936.07	169.20	1019.18	1085.80	3210.25
Cultivo	427.49	0.00	0.00	0.00	427.49
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7814.76	7814.76
Pasto	1890.06	1782.05	4014.61	74.96	7761.68
Vegetación dispersa	43.22	135.11	795.75	0.00	974.08
Zona urbana	2538.65	165.35	319.67	231.05	3254.72
Zona urbana discontinua	831.36	639.29	1335.45	26.40	2832.50
TOTAL (m²)	8327.56	3463.41	11907.27	10927.36	34625.60

Del mismo modo se realizó para los diferentes periodos de retorno en el cual se muestra en los planos de inundaciones con niveles de peligrosidad.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Según los vestigios encontrados en la zona y mediante calibración del modelo se determinó que el caudal de 63.4 m³/s, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años es el que más se asemeja a la inundación ocurrida en el año 2022 y afecta un área total de 26810.84 m².
- Se elaboró el modelo hidrológico para los periodos de retorno de 50, 70, 100, 150 y 200 años utilizando el software HEC-HMS, aplicando el método de pérdidas SCS Curve Number y el método de transformación SCS Unit Hydrograph. Se calcularon los caudales máximos de diseño para intervalos de tiempo de 1 hora y, además, se generaron los hidrogramas correspondientes, abarcando un rango de 0 a 24 horas.
- Se desarrolló el modelo hidráulico utilizando el software Iber para los cinco periodos de retorno de 50, 70, 100, 150 y 200 años, estableciendo como condiciones de contorno en la entrada un flujo subcrítico-crítico y en la salida un flujo supercrítico-crítico. La simulación se llevó a cabo desde los 0 hasta los 86,400 segundos, con intervalos de 1,000 segundos.
- Se crearon los mapas de inundación con los niveles de peligrosidad para los cuatro periodos de retorno: 50, 70, 100, 150 y 200 años, identificando las zonas de la ciudad de Lajas que presentan niveles de peligrosidad bajos, medios, altos y muy altos, de acuerdo con los rangos establecidos para inundaciones dinámicas.

5.2. Recomendaciones

- Durante el proceso de simulación hidráulica con el software Iber, se genere una malla con celdas de 1x1 metro, lo que facilitará la asignación adecuada de las condiciones de contorno en la entrada y salida. Asimismo, se recomienda utilizar un intervalo de tiempo para los resultados que sea compatible con el hidrograma ingresado, con el fin de evaluar de manera precisa el caudal máximo en el momento correspondiente.
- Se recomienda utilizar los resultados de caudal, tirantes y velocidades de los diferentes periodos de retorno para proyectos de mitigación como defensas

ribereñas (defensa ribereña con gaviones, defensa ribereña con muros de concreto armado).

- Para mitigar las inundaciones en el área de estudio según el uso de suelo se recomienda usar caudales de periodos de retorno hasta 50 años para proyectos de defensa ribereña en áreas agrícolas (Gaviones), periodo de retorno de 70 a 150 años para proyectos de defensas ribereñas en zonas donde existen, viviendas, área urbana, centros educativos (muros de contención).

CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, C. H. J. (2021). *Identificación De Áreas Inundables Por Máximas Avenidas Del Rio Quínuas En El Centro Poblado La Quispa* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Aparicio, F. Javier. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie* (LIMUSA, Ed.; Primera edición). Grupo Noriega.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). *Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN)*. www.udocz.com
- Breña, A. F., & Jacobo, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bustamante, Y. A. (2013). *Modelamiento Numérico De Una Onda De Avenida Generada Por La Rotura De Una Presa De Tierra Y Su Estimación De Riesgo- Aplicación A La Presa Yuracmayo*.
- Cardona, B. L. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*.
- Carías, B. E., Chacón, E. T., & Martínez, M. Á. (2004). *Validación De Metodologías Para El Cálculo De Caudales Máximos En El Salvador* [Tesis de pregrado]. Universidad Centroamericana José Simeón Cañaz.
- CENEPRED. (2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión*. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
- Centro Nacional de Estimación, P. y R. del R. de D. (2018). *Escenario De Riesgos Ante La Temporada De Lluvias 2017 – 2018*.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2006). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. Secretaría de Gobernación.
- Chimborazo, J. E. (2019). *Evaluación hidrológica e hidráulica del Río Tomebamba tramo Balzay-Monay mediante modelación matemática del flujo en uni y bidimensional*.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (M. E. Suárez, Ed.).

- Díaz, C., Bâ, M., Iturbe, A., Esteller, Ma. V., & Reyna, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2), 124-134.
- Estrada, Y. A., & Rojas, D. A. (2013). *Comparación Entre El Método Racional Y El Método Del Número De Curva Para La Estimación De Caudales, Caso De Estudio Puente Vehicular Del Proyecto Residencial Refugio De Bassedonia I.*
- Fernández, C. J., León, A. J., & Rodríguez, Y. (2020). Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del río Yanuncay en Cuenca. *ING. HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLI(1), 115-126.
- Francisco, N., Turrent, A., Flores, H. H., Martínez, M. R., & Enríquez, J. F. (2010). Estimación Del Escurrimiento Superficial Con El Método SCS-CN En El Trópico Subhúmedo De México. *TERRA LATINOAMERICANA*, 28(1), 71-78.
- French, R. H. (1988). *Hidráulica de canales abiertos* (Primera edición). McGraw-Hill.
- Gámez, W. R. (2015). *Texto Básico Autoformativo de Topografía General* (David. López, Ed.; Primera Edición). Universidad Nacional Agraria.
- García, J. C., & Chocat, B. (2009). La Modelación En El Campo De La Ingeniería Hidráulica: Reflexiones Y Discusión Sobre Las Causas De Error Y Sus Consecuencias. En *Revista Aqua-LAC-Año* (Vol. 1, Número 1).
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. M. (2010). *Morfología de las cuencas hidrográficas.*
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para ingenieros* (Mc-Graw-Hill Latinoamérica, Ed.; Segunda edición).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.*
- Mori, M. (2007). *Simulación Hidráulica Aplicada, Usando Hec-Ras.*
- Ochoa, S. A., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Patalano, A., & Labaque, M. (2014). *Evaluación de modelos hidrodinámicos para representar flujos en cauces naturales.*
- Pacheco, R. M., Quiala, E., & Martínez, I. (2018). Determinación del parámetro número de curva en la cuenca Las Coloradas en un entorno SIG. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XXXIX(2), 60-71.

- Palomino, D. G. (2005). *Zonificación De Áreas Inundables Utilizando Un Sistema De Información Geográfica. Aplicación Al Tramo Final Del Río Chillón.*
- Pértegas, S., & Pita, S. (2001). La distribución normal. En *Cad Aten Primaria* (Vol. 8).
www.fisterra.com
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española* (Vigesimotercera).
- Ríos, D. M. (2010). *Urbanización de áreas inundables, mediación técnica y riesgo de desastre: una mirada crítica sobre sus relaciones.*
- Rystedt, B. (2015). *El mundo de los mapas* (F. Ormeling & B. Rystedt, Eds.).

LINKOGRAFIA

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Cotrado, N. Y. (2022). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional para la identificación de zonas inundables aguas arriba del puente Tambo Grande del río Piura* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/35629>
- Espinoza, A. M. (2020). *Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional* [Tesis de pregrado, Universidad De Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34535>
- INDECI. (2017). Compendio estadístico del INDECI 2017 Gestión reactiva. Instituto Nacional de Defensa Civil.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1048401/2018022717145412020_0726-15599-1ptpifw.pdf
- INDECI. (24 de marzo de 2022). Cajamarca: autoridades locales evalúan daños por lluvias en Lajas. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
<https://www.gob.pe/institucion/indeci/noticias/594824-cajamarca-utoridadeslocales-evaluan-danos-por-lluvias-en-lajas>
- Juculaca, L. C. (2021). *Identificación de zonas vulnerables mediante el Modelamiento Hidráulico en el cauce de la Quebrada Del Diablo, Provincia De Tacna*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/59814>
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J., & Gimena, F. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y Proyectos*, 12, 15-30.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132012000200002
- Organización de los Estados Americanos (OEA). (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/begin.htm>

Saldaña, C. (2023). *Zonificación de áreas inundables por máximas avenidas de la quebrada Sarin Mayo en el distrito de Namora- Cajamarca*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6360>

Pérez, J. I., Escobar, J. R., & Fragozo, J. M. (2018). Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(4), 143-157.

<https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400143>

ANEXOS

Anexo 1

Solicitud dirigida al SENAMHI para obtención de datos de la estación Chotano Lajas

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES /TESISTAS - DIRECCIÓN ZONAL

Señor(a)
DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI (OZ 2)

Presente.-

GEINER TARRILLO NUÑEZ

(Nombre y Apellidos)

RESIDENCIAL SIERRA VERDE 3/A - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA

(Dirección)

con N° DNI: 77673297 Telf.: 954713949 E-mail: g.tarrillon16_1@unc.edu.pe

Universidad/ Instituto: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Carrera/ Profesión: INGENIERÍA CIVIL

Ante usted me presento y expongo;

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de solicitud de los datos)

Como parte fundamental para mi proyecto de tesis: "Identificación de Áreas Inundables por máximas Avenidas del Río Jalguico en la Ciudad de Lajas - Chota"

Solicito la siguiente información:

ESTACION/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS
CHOTANO LAJAS	PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL DE 24 HORAS	1990 - 2023

La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico: g.tarrillon16_1@unc.edu.pe

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Cajamarca 02 de Septiembre del 2024



Firma del Usuario

Anexo 2.

Base de datos

Información brindada por el SENAMHI

DIRECCIÓN ZONAL 2 SENAMHI LAMBAYEQUE												
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA CHOTANO LAJAS												
PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN (mm), Máxima mensual												
PERIODO: 1990-2023												
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1990	24.5	14.0	9.2	18.8	22.2	5.2	3.2	10.7	1.7	43.3	16.9	10.2
1991	3.0	31.1	22.7	33.9	4.5	3.2	17.6	0.0	13.2	10.9	12.8	23.1
1992	14.3	32.2	18.7	37.8	13.0	11.8	14.6	6.5	28.1	26.2	14.5	7.7
1993	17.1	SD	20.9	13.0	14.2	6.8	5.2	SD	18.1	25.2	19.2	25.8
1994	20.3	23.3	26.6	19.3	16.0	13.8	2.4	0.0	31.8	7.9	22.0	17.6
1995	6.5	21.6	38.1	21.2	15.2	3.0	19.3	20.7	15.2	20.2	9.1	17.5
1996	19.3	22.7	20.5	17.9	10.0	15.0	2.1	10.4	21.7	31.1	17.5	5.8
1997	10.7	28.6	23.0	25.5	6.1	10.7	0.4	0.3	6.6	14.5	14.2	48.3
1998	28.1	28.6	36.8	63.4	28.2	0.3	5.1	16.6	18.5	29.1	19.2	69.1
1999	32.0	32.4	37.2	15.0	7.8	41.4	9.0	8.1	27.7	53.3	16.7	19.2
2000	18.7	18.6	17.0	35.4	24.5	27.5	0.9	13.0	7.7	3.3	9.0	29.1
2001	22.7	11.8	36.5	42.5	27.1	1.7	6.9	0.0	20.0	21.0	15.0	16.5
2002	20.9	35.5	26.6	24.2	24.0	1.9	3.0	1.3	11.7	24.3	24.2	39.5
2003	32.5	27.9	26.0	32.6	9.6	29.1	4.5	4.3	17.5	18.6	21.1	27.4
2004	26.2	18.0	27.0	17.6	43.3	0.8	14.7	1.2	29.0	18.8	27.7	19.3
2005	7.5	22.1	37.5	25.0	4.0	13.6	1.4	5.2	28.5	22.2	29.6	15.8
2006	29.6	36.2	42.4	30.3	1.2	9.2	13.6	10.1	37.1	18.4	32.4	26.7
2007	25.3	11.2	SD	34.4	25.2	0.0	4.7	12.2	12.3	41.2	32.7	12.9
2008	49.0	35.0	20.4	11.8	12.7	10.8	2.6	17.6	35.5	43.4	26.2	8.2
2009	24.0	20.1	43.9	29.9	23.2	15.6	1.4	4.1	36.2	26.4	54.1	27.2
2010	15.1	57.7	34.2	33.5	13.5	10.3	16.9	12.4	19.4	20.0	8.6	13.1
2011	12.3	20.2	19.8	14.3	19.5	0.8	8.2	3.4	17.8	11.8	11.6	28.8
2012	26.7	48.5	36.4	47.6	18.9	0.6	4.8	0.6	15.8	23.1	31.4	35.7
2013	50.4	14.6	25.7	18.4	36.1	5.9	18.8	17.6	6.0	17.8	5.7	10.3
2014	16.6	22.1	24.1	16.8	34.6	3.1	8.7	11.9	11.1	17.7	40.0	16.5
2015	35.0	18.0	31.4	19.0	30.8	16.7	3.2	2.5	3.5	41.1	37.4	19.7
2016	20.3	32.4	37.5	31.5	19.6	29.4	0.0	0.0	26.7	15.8	16.8	17.0
2017	29.2	18.7	41.8	22.2	23.3	25.4	0.0	33.4	14.0	24.4	32.0	18.0
2018	34.4	40.0	20.0	38.0	19.5	5.8	0.0	0.0	32.0	35.7	46.5	12.4
2019	16.7	41.1	18.9	48.8	41.9	5.1	6.5	0.0	16.4	21.8	16.0	27.0
2020	6.7	25.5	23.6	44.0	18.1	21.4	27.9	5.5	21.9	34.5	34.8	59.5
2021	25.3	41.9	40.9	25.6	24.8	26.2	5.1	16.5	7.1	57.7	52.2	23.7
2022	16.0	34.6	51.0	18.0	25.7	13.8	13.7	22.4	13.4	12.2	7.8	25.4
2023	25.3	18.0	23.8	41.9	14.0	25.4	11.3	6.9	7.9	21.4	44.6	33.0

Anexo 3

Panel fotográfico

Fotografía 1. *Estacionamiento de la Base del GPS Diferencial*



Fotografía 2. *Proceso del levantamiento de puntos topográficos*



Fotografía 3. *Puntos críticos donde desborda el río*



Fotografía 4. *Puntos críticos donde desborda el río*



Fotografía 5. *Puntos críticos donde desborda el río*



Fotografía 6. *Vuelo con Dron para generar Ortofoto*



Fotografía 6. *Imágenes del desborde del río Jalqueño año 2022*



Fuente: *Portafolio periodístico*

Fotografía 7. *Imágenes del desborde del río Jalqueño año 2022*



Fotografía 8. *Imágenes del desborde del río Jalqueño año 2022 sector Villa Lourdes*



Fuente: *Andina Radio*

Anexo 4

PLANOS A ESCALA REAL

MAPA DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE LAJAS-CHOTA POR MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO: TR=50 AÑOS

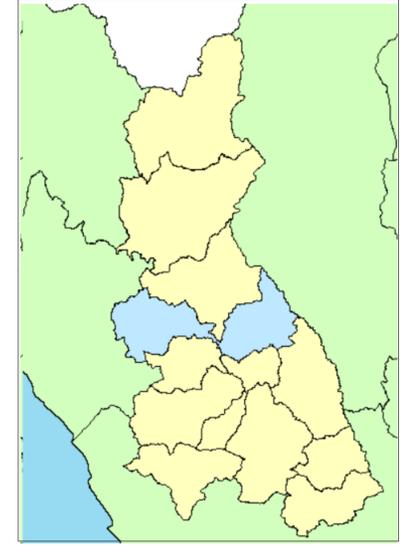
USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	95.41	102.01	398.18	56.95	652.55
Arbustos	1565.30	470.40	4024.43	1637.44	7697.57
Concreto	936.07	169.20	1019.18	1085.80	3210.25
Cultivo	427.49	0.00	0.00	0.00	427.49
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7814.76	7814.76
Pasto	1890.06	1782.05	4014.61	74.96	7761.68
Vegetación dispersa	43.22	135.11	795.75	0.00	974.08
Zona urbana continua	2538.65	165.35	319.67	231.05	3254.72
Zona urbana discontinua	831.36	639.29	1335.45	26.40	2832.50
TOTAL (m²)	8327.56	3463.41	11907.27	10927.36	34625.60

SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS	
	MANZANAS
	CASAS
	LIMITES DE RIO
	PROYECCION DE MANZANAS

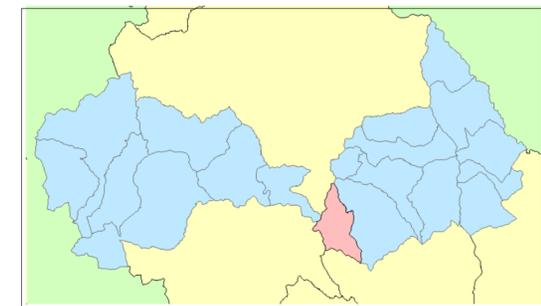
LEYENDA
Tr=50 años
 0 nula
PELIGROSIDAD
 1 Baja
 2 Media
 3 Ata
 4 Muy alta



1:15,000,000



1:2,500,000



1:1,000,000



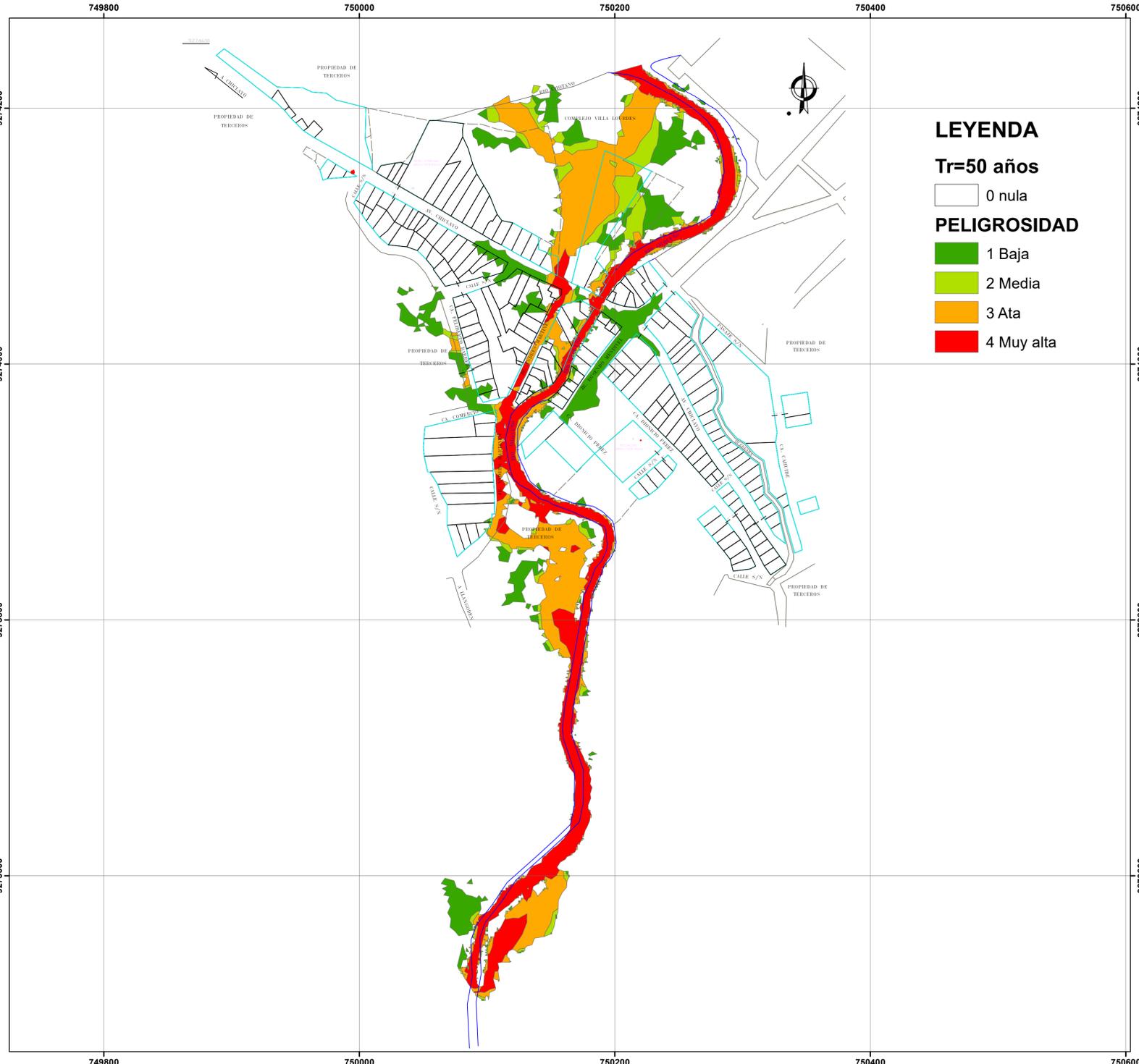
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "IDENTIFICACIÓN DE AREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS – CHOTA"

MAPA:	NIVEL DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES PARA TR=50 AÑOS
TESISTA:	TARRILLO NUÑEZ GEINER
ESCALA:	FECHA:
1:2 000	2024

Nº Mapa: **1**



Datum WGS84 Zona 17 S - Carta Nacional 15g de la Zona 17M - Límites Distritales del IGN

MAPA DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE LAJAS-CHOTA POR MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO: TR=70 AÑOS

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	115.17	97.79	394.21	58.97	666.14
Arbustos	1708.45	504.49	3999.64	1724.72	7937.30
Concreto	1017.42	292.40	989.68	1209.49	3508.99
Cultivo	536.05	105.24	0.00	0.00	641.29
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7838.21	7838.21
Pasto	1562.75	1947.32	4323.77	96.44	7930.28
Vegetación dispersa	45.02	132.53	812.09	0.00	989.64
Zona urbana continua	2717.47	170.91	329.03	260.77	3478.18
Zona urbana discontinua	1246.21	591.53	1461.85	28.24	3327.83
TOTAL (m²)	8948.54	3842.21	12310.27	11216.84	36317.86

SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS	
	MANZANAS
	CASAS
	LIMITES DE RIO
	PROYECCION DE MANZANAS

LEYENDA
Tr=70 años

0 nula

PELIGROSIDAD

1 Baja

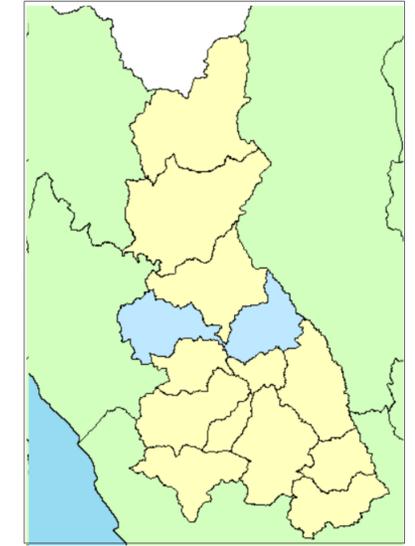
2 Media

3 Alta

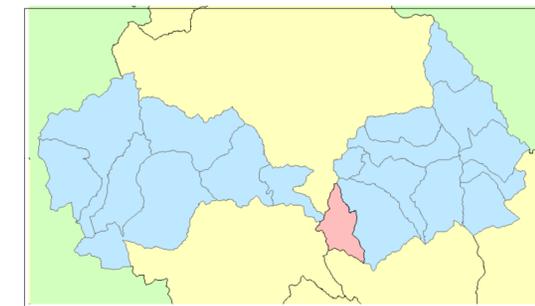
4 Muy alta



1:15,000,000



1:2,500,000



1:1,000,000

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: "IDENTIFICACIÓN DE AREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS – CHOTA"		
MAPA:	NIVEL DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES PARA TR=70 AÑOS	
TESISTA:	TARRILLO NUÑEZ GEINER	
ESCALA:	1:2 000	FECHA: 2024
		Nº Mapa: 2



MAPA DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE LAJAS-CHOTA POR MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO: TR=100 AÑOS

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	115.97	95.54	365.86	68.71	646.08
Arbustos	2704.58	495.27	3971.80	1956.84	9128.49
Concreto	1269.71	299.66	865.45	1379.60	3814.41
Cultivo	1297.25	4.25	0.00	0.00	1301.50
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7899.33	7899.33
Pasto	1559.50	1929.85	4443.57	169.65	8102.57
Vegetación dispersa	39.75	134.61	779.63	0.00	953.99
Zona urbana continua	3118.62	197.77	322.05	303.61	3942.04
Zona urbana discontinua	1379.24	608.48	1528.24	28.20	3544.16
TOTAL (m²)	11484.62	3765.43	12276.59	11805.93	39332.57

SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS	
	MANZANAS
	CASAS
	LIMITES DE RIO
	PROYECCION DE MANZANAS

LEYENDA
Tr=100 años

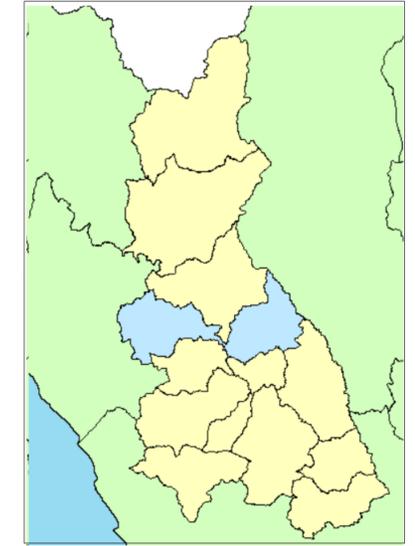
0 nula

PELIGROSIDAD

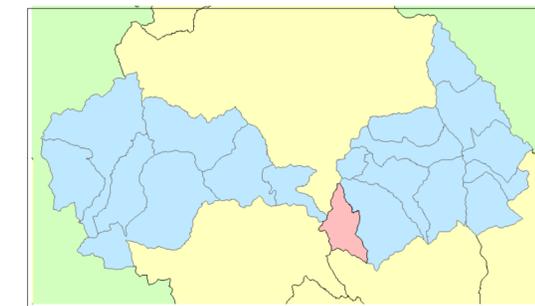
- 1 Baja
- 2 Media
- 3 Alta
- 4 Muy alta



1:15,000,000



1:2,500,000



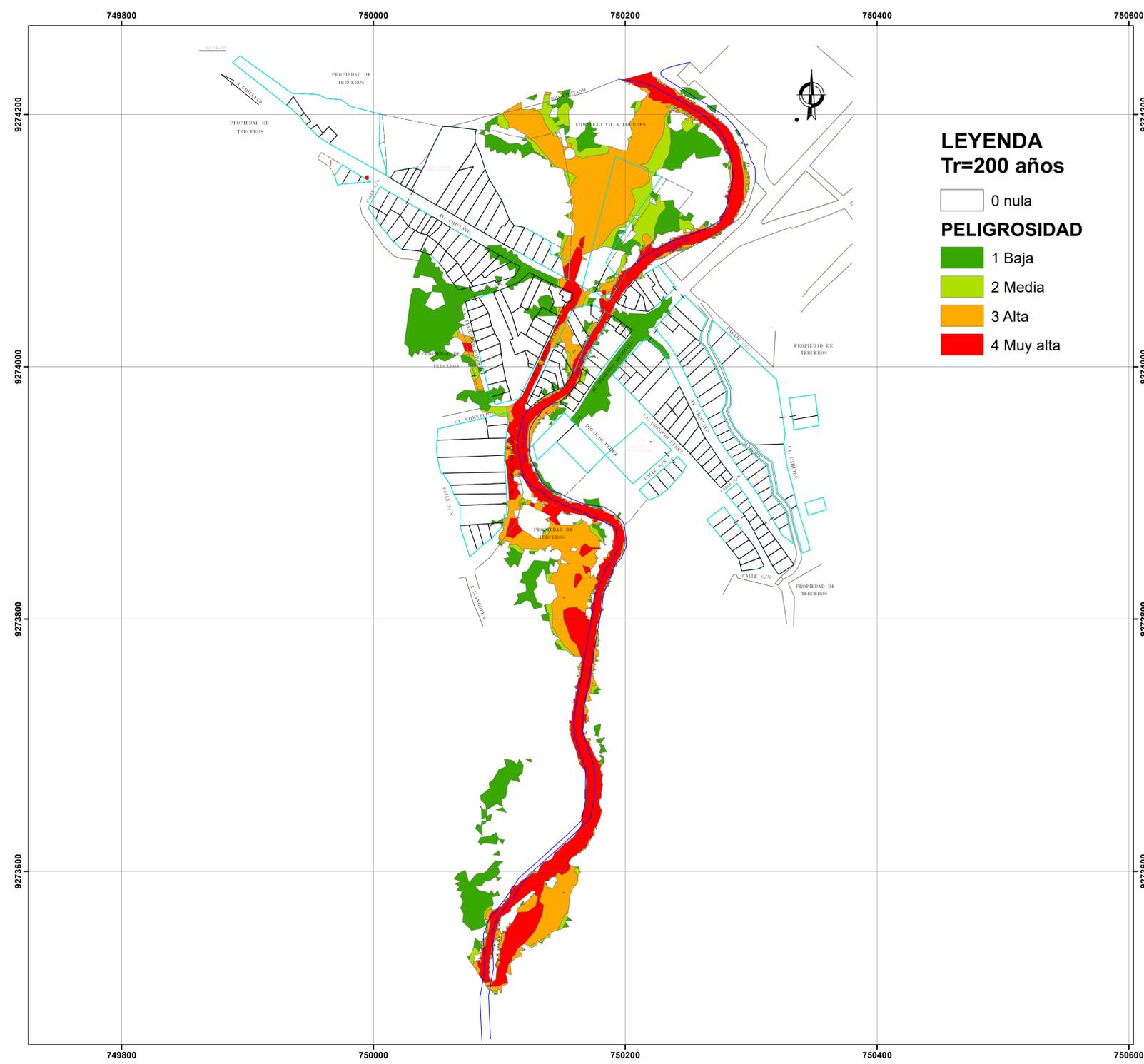
1:1,000,000

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: "IDENTIFICACIÓN DE AREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS – CHOTA"			
MAPA:	NIVEL DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES PARA TR=100 AÑOS		
TESISTA:	TARRILLO NUÑEZ GEINER		
ESCALA:	1:2 000	FECHA:	2024
		Nº Mapa:	3



Datum WGS84 Zona 17 S - Carta Nacional 15g de la Zona 17M - Límites Distritales del IGN

MAPA DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE LAJAS-CHOTA POR MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO: TR=200 AÑOS



LEYENDA
Tr=200 años

□ 0 nula

PELIGROSIDAD

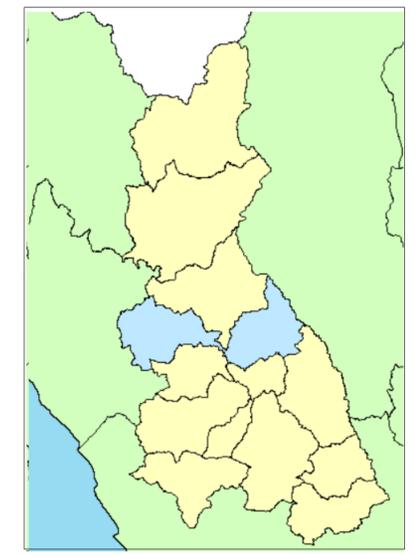
- 1 Baja
- 2 Media
- 3 Alta
- 4 Muy alta

USO DEL SUELO	Nivel de peligrosidad ante inundación				TOTAL (m ²)
	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Arboles	156.22	119.40	378.42	76.10	730.13
Arbustos	4205.20	1805.36	3725.88	2929.27	12665.71
Concreto	1160.14	282.18	863.28	1639.01	3944.62
Cultivo	1284.45	23.83	0.93	0.00	1309.22
Curso de agua	0.00	0.00	0.00	7959.06	7959.06
Pasto	1198.26	2108.03	4865.26	320.54	8492.08
Vegetación dispersa	48.59	147.71	796.21	0.00	992.51
Zona urbana continua	3286.51	252.49	392.33	328.67	4260.00
Zona urbana discontinua	1631.81	745.26	1707.09	28.75	4112.91
TOTAL (m²)	12971.19	5484.27	12729.41	13281.40	44466.26

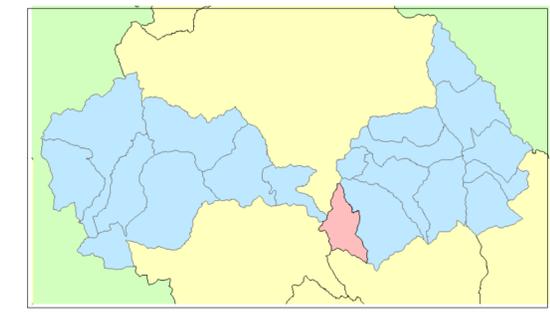
SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS	
	MANZANAS
	CASAS
	LIMITES DE RIO
	PROYECCION DE MANZANAS



1:15,000,000



1:2,500,000



1:1,000,000



Datum WGS84 Zona 17 S - Carta Nacional 15g de la Zona 17M - Límites Distritales del IGN

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS: "IDENTIFICACIÓN DE AREAS INUNDABLES POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RIO JALQUEÑO EN LA CIUDAD DE LAJAS - CHOTA"	
MAPA:	NIVEL DE PELIGROSIDAD ANTE INUNDACIONES PARA TR=200 AÑOS
TESISTA:	TARRILLO NUÑEZ GEINER
ESCALA:	FECHA:
1:2 000	2024
Nº Mapa: 4	