

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



TESIS

**“NIVEL DE RIESGO POR INUNDACIÓN DE LA PARTE BAJA DEL BARRIO EL
PORVENIR, DISTRITO DE CELENDÍN, PROVINCIA DE CELENDÍN,
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA – 2022”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. Fredy Jhon Escobedo Tirado

ASESOR:

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre

CAJAMARCA - PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: FREDY JHON ESCOBEDO TIRADO

DNI: 48054040

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. Asesor: Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.

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: NIVEL DE RIESGO POR INUNDACIÓN DE LA PARTE BAJA
DEL BARRIO EL PORVENIR, DISTRITO DE CELENDÍN, PROVINCIA DE CELENDÍN,
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA-2022**

6. Fecha de evaluación: 24 de Diciembre de 2025

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

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 20 %

9. Código Documento: oid:3117:543079582.

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 26 de diciembre de 2025



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 26/12/2025 23:28:48-0500

FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

DNI: 26609077

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 - Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *NIVEL DE RIESGO POR INUNDACIÓN DE LA PARTE BAJA DEL BARRIO EL PORVENIR, DISTRITO DE CELENDÍN, PROVINCIA DE CELENDÍN, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA - 2022.*

ASESOR : *Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0034-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 09 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **trece días del mes de enero de 2026**, siendo las quince horas con treinta minutos (3:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Vocal : M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *NIVEL DE RIESGO POR INUNDACIÓN DE LA PARTE BAJA DEL BARRIO EL PORVENIR, DISTRITO DE CELENDÍN, PROVINCIA DE CELENDÍN, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA - 2022*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **FREDY JHON ESCOBEDO TIRADO**, asesorado por el Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *05* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *16* PTS. *Dicaseis* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* con el calificativo de *Proceder* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *Dieciseis* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Presidente

M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.
Vocal

M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Secretario

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en la toma correcta de decisiones.

A mis padres por el regalo de la vida, por los aprendizajes que me convirtieron en la persona que soy hoy en día, por enseñarme a hacer el bien y tratar a los demás con respeto.

A mi familia en general, por ser el soporte que me permitió alcanzar todas mis metas.

A mis amigos, en especial a aquellos con los que compartí momentos invaluables y me permiten crecer como persona.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, el asesor de la presente investigación, quien aseguró el correcto desarrollo de la presente investigación a lo largo de todas sus etapas con ímpetu y profesionalismo.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, en cuyas aulas me formé académicamente y pude trazar los inicios de mi vida profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema de investigación	1
1.1.1. Contexto	1
1.1.2. Descripción del problema	2
1.1.3. Formulación del problema	2
1.2. Justificación e importancia de la investigación	2
1.3. Delimitación de la investigación	3
1.4. Limitaciones de la investigación	3
1.5. Alcance de la investigación	4
1.6. Objetivo	4
1.6.1. Objetivo general	4
1.6.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	5
2.1.1. Internacionales	5
2.1.2. Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes regionales y locales	9
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. inundaciones	12
2.2.2. Gestión de riesgos de desastres	12
2.2.3. Caracterización de peligro	12
2.2.4. Caracterización de la vulnerabilidad	14
2.2.5. Estimación de riesgo	18
2.2.6. Cartografía	19
2.2.7. Hidrología	20

2.2.8. Hidráulica	28
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Descripción del área de estudio	32
3.1.1. Ubicación geográfica	32
3.1.2. Localización de las microcuencas hidrográficas	33
3.1.3. Ubicación temporal	33
3.2. Metodología	34
3.2.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación	34
3.2.2. Población de estudio	34
3.2.3. Muestra	35
3.2.4. Unidad de análisis	35
3.3. Materiales	35
3.3.1. Información cartográfica y topográfica	35
3.3.2. Información de suelos	35
3.3.3. Información meteorológica	36
3.3.4. Equipos	36
3.3.5. Programas	36
3.4. Procedimiento	37
3.5. Reconocimiento de la zona de estudio	37
3.5.1. Características de la zona de estudio	38
3.6. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas hidrográficas	39
3.7. Procesamiento de datos de precipitación	43
3.7.1. Histograma de precipitaciones	44
3.7.2. Análisis de doble masa	44
3.7.3. Análisis de datos dudosos	45
3.7.4. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas corregidas	46
3.7.5. Curvas de intensidad – duración - frecuencia	47
3.7.6. Hietograma de diseño	48
3.8. Cálculo del número de curva	48
3.9. Modelamiento hidrológico	50
3.10. Modelamiento hidráulico	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
4.1. CÁLCULO DEL NIVEL DE PELIGRO DE INUNDACIÓN	60
4.2. CÁLCULO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD A INUNDACIÓN	65

4.2.1. Vulnerabilidad física	66
4.3. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO DE INUNDACIÓN	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1. Conclusiones	74
5.2. Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA	76
LINKOGRAFÍA	77
ANEXOS	81
Anexo 1: Análisis estadístico data meteorológica - estación Celendín	82
Anexo 2: Información cartográfica y topográfica	91
Anexo 3: Resultados del modelamiento hidrológico en HEC-HMS	93
Anexo 4: Panel fotográfico	104
Anexo 5: Planos	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Nivel de intensidad de las inundaciones</i>	13
Tabla 2 <i>Frecuencia en relación con los períodos de retorno</i>	14
Tabla 3 <i>Clasificación del nivel de peligrosidad</i>	14
Tabla 4 <i>Localización de las viviendas</i>	15
Tabla 5 <i>Material de construcción de las viviendas</i>	15
Tabla 6 <i>Características geológicas y suelos</i>	16
Tabla 7 <i>Normativa técnica de la construcción</i>	16
Tabla 8 <i>Clasificación del nivel de vulnerabilidad</i>	17
Tabla 9 <i>Clasificación del nivel de riesgo</i>	18
Tabla 10 <i>Valores K_n para la prueba de datos dudosos</i>	22
Tabla 11 <i>Número de curva para diferentes usos de suelo</i>	26
Tabla 12 <i>Coeficientes de Manning para llanuras de inundación</i>	30
Tabla 13 <i>Coordenadas UTM del polígono de intervención</i>	32
Tabla 14 <i>Dimensiones de los ríos en el tramo de estudio</i>	38
Tabla 15 <i>Parámetros de forma de las microcuencas hidrográficas</i>	40
Tabla 16 <i>Parámetros asociados al relieve de las microcuencas hidrográficas</i>	40
Tabla 17 <i>Parámetros asociados al perfil de los cauces</i>	42
Tabla 18 <i>Parámetros asociados al drenaje de las microcuencas</i>	42
Tabla 19 <i>Precipitación máxima en 24 horas de la estación Celendín</i>	43
Tabla 20 <i>Precipitaciones de diseño por el método de Dick-Peschke</i>	46
Tabla 21 <i>Intensidad – duración – frecuencia</i>	47
Tabla 22 <i>Histograma de diseño</i>	48
Tabla 23 <i>Número de curva de la microcuenca del río Chico</i>	49
Tabla 24 <i>Número de curva de la microcuenca del río Grande</i>	49
Tabla 25 <i>Caudales obtenidos de HEC-HMS para el río Chico</i>	53
Tabla 26 <i>Caudales obtenidos de HEC-HMS para el río Grande</i>	54
Tabla 27 <i>Nivel de peligro de inundación ($Tr = 5$ años)</i>	60
Tabla 28 <i>Nivel de peligro de inundación ($Tr = 15$ años)</i>	61
Tabla 29 <i>Nivel de peligro de inundación ($Tr = 50$ años)</i>	62
Tabla 30 <i>Nivel de peligro de inundación ($Tr = 200$ años)</i>	63
Tabla 31 <i>Nivel de peligro de inundación ($Tr = 350$ años)</i>	64
Tabla 32 <i>Resultados del nivel de peligro por inundación barrio El Porvenir</i>	65
Tabla 33 <i>Vector de localización de las viviendas</i>	66

Tabla 34 <i>Cuantificación del vector de localización de las viviendas</i>	66
Tabla 35 <i>Vector de material de construcción</i>	66
Tabla 36 <i>Cuantificación del vector de tipos de materiales de construcción</i>	66
Tabla 37 <i>Vector de características geológicas</i>	67
Tabla 38 <i>Cuantificación del vector de las características geológicas</i>	67
Tabla 39 <i>Vector de cumplimiento de normativas</i>	67
Tabla 40 <i>Cuantificación del vector de cumplimiento de normativas</i>	67
Tabla 41 <i>Resultados del nivel de vulnerabilidad del barrio El Porvenir</i>	68
Tabla 42 <i>Nivel de riesgo por inundación (Tr = 5 años)</i>	69
Tabla 43 <i>Nivel de riesgo por inundación (Tr = 15 años)</i>	70
Tabla 44 <i>Nivel de riesgo por inundación (Tr = 50 años)</i>	71
Tabla 45 <i>Nivel de riesgo por inundación (Tr = 200 años)</i>	71
Tabla 46 <i>Nivel de riesgo por inundación (Tr = 350 años)</i>	72
Tabla 47 <i>Resultados del nivel de riesgo por inundación del barrio El Porvenir</i>	73
Tabla 48 <i>Datos de la estación Celendín</i>	83
Tabla 49 <i>Prueba de datos Outlier</i>	84
Tabla 50 <i>Analisis estadistico de datos estación Celendín</i>	84
Tabla 51 <i>Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov</i>	85
Tabla 52 <i>Prueba de bondad de ajuste – Grafica de probabilidades</i>	86
Tabla 58 <i>Valores de precipitaciones máximas en 24 horas</i>	88
Tabla 59 <i>Precipitaciones de diseño método Dick-Peschke</i>	89
Tabla 60 <i>Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas</i>	89
Tabla 61 <i>Intensidad – duración – frecuencia (I-D-F)</i>	90
Tabla 62 <i>Plantilla para el cálculo del hietograma de diseño</i>	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zonas UTM de Perú	19
Figura 2 Diagrama de respuesta transitoria del sistema	28
Figura 3 Área de influencia para determinar el riesgo por inundación	33
Figura 4 Diagrama de flujo del procedimiento de investigación	37
Figura 5 Izquierda el río Chico, derecha el río Grande	39
Figura 6 Curva hipsométrica e histograma del río Chico	41
Figura 7 Curva hipsométrica e histograma del río Grande	41
Figura 8 Delimitación de las microcuencas hidrográficas	42
Figura 9 Histograma de precipitaciones	44
Figura 10 Análisis de doble masa de la estación Celendín	45
Figura 11 Verificación de datos dudosos método Outlier	45
Figura 12 Precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno	46
Figura 13 Curvas de intensidad – duración - frecuencia	47
Figura 14 Hietograma para diferentes períodos de retorno	48
Figura 15 Mapa de Cobertura y uso de suelos	49
Figura 16 Ingreso áreas de cada microcuenca programa HEC-HMS	50
Figura 17 Ingreso de curva número al programa HEC-HMS	50
Figura 18 Representación del modelo programa HEC-HMS	51
Figura 19 Caudal obtenido para el río Chico	51
Figura 20 Caudal obtenido para el río Grande	52
Figura 21 Caudales en la confluencia del río Chico y río Grande	52
Figura 22 Caudales por periodo de retorno Río Chico	55
Figura 23 Caudales por periodo de retorno Río Grande	55
Figura 24 Configuración Ras Mapper	56
Figura 25 Geometría del modelo en HEC-RAS	57
Figura 26 Configuración condiciones de borde HEC-RAS	57
Figura 27 Hidrograma de caudales ingresados en el HEC-RAS	58
Figura 28 Configuración general de HEC-RAS	58
Figura 29 Corrida de modelo software HEC-RAS	59
Figura 30 Mapa de peligro de inundación ($Tr = 5$ años)	60
Figura 31 Mapa de peligro de inundación ($Tr = 15$ años)	61
Figura 32 Mapa de peligro de inundación ($Tr = 50$ años)	62
Figura 33 Mapa de peligro de inundación ($Tr = 200$ años)	63

Figura 34 <i>Mapa de peligro de inundación (Tr = 350 años)</i>	64
Figura 35 <i>Mapa de vulnerabilidad por inundación del barrio el Porvenir</i>	68
Figura 36 <i>Mapa de riesgo por inundación (Tr = 5 años)</i>	69
Figura 37 <i>Mapa de riesgo por inundación (Tr = 15 años)</i>	70
Figura 38 <i>Mapa de riesgo por inundación (Tr = 50 años)</i>	71
Figura 39 <i>Mapa de riesgo por inundación (Tr = 200 años)</i>	72
Figura 40 <i>Mapa de riesgo por inundación (Tr = 350 años)</i>	73
Figura 41 <i>Ajuste estadístico – distribución Normal</i>	87
Figura 42 <i>Ajuste estadístico – distribución Gumbel</i>	87
Figura 43 <i>Ajuste estadístico - distribución Log-Normal</i>	87
Figura 44 <i>Ajuste estadístico – distribución Pearson III</i>	88
Figura 45 <i>Ajuste estadístico – distribución Log-Pearson III</i>	88
Figura 46 <i>Ráster extraído de Alaska Satellite Facility de la NASA.</i>	92
Figura 47 <i>Ráster extraído de la fotogrametría aérea.</i>	92
Figura 48 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 5 años del río Chico</i>	94
Figura 49 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 5 años del río Grande</i>	95
Figura 50 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 15 años del río Chico</i>	96
Figura 51 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 15 años del río Grande</i>	97
Figura 52 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 50 años del río Chico</i>	98
Figura 53 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 50 años del río Grande</i>	99
Figura 54 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 200 años del río Chico</i>	100
Figura 55 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 200 años del río Grande</i>	101
Figura 56 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 350 años del río Chico</i>	102
Figura 57 <i>Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 350 años del río Grande</i>	103

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial en la parte baja del barrio El Porvenir, ubicado en el distrito y provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, en un área de 23.18 ha. Para ello, se realizó el reconocimiento de la zona y la caracterización geomorfológica de las microcuenca del río Chico y río Grande, complementándose con la información de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica Celendín, correspondiente al periodo 1977-2023. El modelamiento hidrológico se desarrolló mediante el método del hidrograma unitario en HEC-HMS para periodos de retorno de 5, 15, 50, 200 y 350 años, obteniéndose caudales máximos de 89.20 m³/s en el río Chico y 169.8 m³/s en el río Grande, estos valores se asocian a la inundación ocurrida en 2017 que afectó 7.405 ha. Asimismo, a través del modelamiento hidráulico bidimensional para flujo no permanente en HEC-RAS, se identificaron las áreas inundables con tirantes de agua de hasta 1.5 m. Finalmente, se determinó el nivel de riesgo por inundación considerando el peligro y la vulnerabilidad, donde se pudo evidenciar que, para un periodo de retorno de 5 años, 2.61% (0.606 ha) tiene un riesgo muy alto y 2.42% (0.560 ha) riesgo alto. Para 15 años 2.42% (0.561 ha) presenta un riesgo muy alto, 2.90% (0.673 ha) riesgo alto y 4.36% (1.010 ha) riesgo medio. Para 50 años 9.03% (2.092 ha) tiene riesgo alto y 6.81% (1.578 ha) riesgo medio, para un periodo de retorno de 200 años 21.11% (4.893 ha) presenta riesgo medio y para un periodo de retorno de 350 años 31.95% (7.405 ha) están en riesgo medio de inundación.

PALABRAS CLAVE: vulnerabilidad física, peligro a inundación, riesgo ante inundación, modelamiento hidrológico, modelamiento hidráulico.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the level of fluvial flood risk in the lower part of the El Porvenir neighborhood, located in the district and province of Celendín, department of Cajamarca, over an area of 23.18 ha. For this purpose, field reconnaissance and geomorphological characterization of the micro-watersheds of the Chico River and the Grande River were carried out, complemented with information on maximum 24-hour precipitation from the Celendín meteorological station for the period 1977–2023. Hydrological modeling was developed using the unit hydrograph method in HEC-HMS for return periods of 5, 15, 50, 200, and 350 years, obtaining peak discharges of 89.20 m³/s in the Chico River and 169.8 m³/s in the Grande River; these values are associated with the flood that occurred in 2017, which affected 7.405 ha. Likewise, through two-dimensional hydraulic modeling for unsteady flow in HEC-RAS, flood-prone areas with water depths of up to 1.5 m were identified. Finally, the level of flood risk was determined by considering hazard and vulnerability, evidencing that, for a 5-year return period, 2.61% (0.606 ha) presents very high risk and 2.42% (0.560 ha) high risk. For a 15-year return period, 2.42% (0.561 ha) presents very high risk, 2.90% (0.673 ha) high risk, and 4.36% (1.010 ha) medium risk. For a 50-year return period, 9.03% (2.092 ha) presents high risk and 6.81% (1.578 ha) medium risk; for a 200-year return period, 21.11% (4.893 ha) presents medium risk; and for a 350-year return period, 31.95% (7.405 ha) is under medium flood risk.

KEY WORDS: physical vulnerability, flood hazard, flood risk, hydrological modeling, hydraulic modeling.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema de investigación

1.1.1. Contexto

A nivel mundial, las inundaciones se encuentran entre los desastres naturales más destructivos, tanto en términos de pérdidas humanas como económicas. Durante las últimas cinco décadas han causado aproximadamente la mitad de las muertes y casi tres cuartas partes de los daños económicos asociados a fenómenos hidrometeorológicos (WMO, 2021). Esta problemática se ha intensificado debido al crecimiento acelerado y desordenado de las ciudades. La expansión hacia áreas marginales expuestas a amenazas naturales ha incrementado la vulnerabilidad de la población, en particular de aquellos con menores recursos, afectando negativamente los sectores social, económico, servicios y profundizando las brechas de desigualdad, pobreza y exclusión (Lavell et al., 2023; Tyler & Moench, 2012).

En el Perú, las inundaciones son frecuentes, especialmente en las regiones andinas durante la época de lluvias comprendida entre los meses de noviembre y marzo, periodo en el cual los ríos experimentan un notable aumento de caudal, esta problemática se agrava en años influenciados por el fenómeno El Niño, cuyas precipitaciones intensas provocan desbordes que afectan a las comunidades ribereñas (CENEPRED, 2014).

Según Oficio N°092-2019-CENEPRED/DGP-1.0, todas las provincias de Cajamarca presentan riesgo de sufrir inundaciones (CENEPRED, 2019).

En este contexto la provincia de Celendín no ha sido ajeno a esta realidad, según el Informe de emergencia de N° 021 - 13/01/2017 / COEN – INDECI, el 8 de enero de 2017 a las 13.30 horas a consecuencia de las intensas precipitaciones registradas en la zona se registraron inundaciones en distintos puntos de la ciudad afectando viviendas, servicios básicos, vías de comunicación y áreas de cultivo, dejando 40 familias damnificadas, 32 viviendas inhabitables, 8 viviendas colapsadas y 5 instituciones educativas afectadas (INDECI, 2017).

1.1.2. Descripción del problema

El barrio “El Porvenir”, ubicado en la ciudad de Celendín, se ha visto constantemente afectado por inundaciones durante la temporada de lluvias, constituyéndose en una problemática de carácter recurrente que compromete seriamente la seguridad física, social y económica de su población. Esta situación obedece a una combinación de factores de vulnerabilidad, entre los que destacan la morfología plana del terreno, la proximidad del río Chico y del río Grande, así como la existencia de viviendas construidas con materiales precarios en áreas no planificadas, muchas de ellas ubicadas en zonas expuestas directamente a eventos hidrometeorológicos. A ello se suma una limitada cultura de prevención del riesgo, manifestada en la escasa sensibilización y capacitación comunitaria en gestión del riesgo de desastres, lo que debilita la capacidad de respuesta de la población. Asimismo, la ausencia de infraestructura adecuada, como sistemas de drenaje pluvial, defensas ribereñas u obras de contención, contribuye a agravar la problemática, incrementando significativamente el nivel de exposición y vulnerabilidad del territorio. Esta realidad pone en evidencia la necesidad urgente de desarrollar estudios técnicos específicos que permitan caracterizar con precisión el nivel de riesgo por inundación, y que sirvan como base para la implementación de medidas estructurales y no estructurales orientadas a la mitigación del impacto de futuros eventos.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación fluvial de la parte baja del barrio El Porvenir, distrito de Celendín, provincia de Celendín, Departamento de Cajamarca?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

El barrio “El Porvenir” se enfrenta continuamente a inundaciones que afectan la seguridad y el bienestar de su población. Pese a ello no se cuenta con estudios específicos que evalúen el nivel de riesgo por inundación en esta zona, lo que limita la implementación de medidas de prevención, mitigación y respuesta. La

falta de información técnica y contextualizada dificulta la planificación territorial y la gestión del riesgo, exponiendo a la población a condiciones de alta vulnerabilidad. En este contexto, el presente estudio busca generar un análisis detallado del nivel de riesgo por inundación, con el fin de generar información técnica útil para la toma de decisiones en la gestión del riesgo, promover una cultura de prevención y contribuir a la protección de la comunidad.

1.3. Delimitación de la investigación

Los trabajos y estudios se realizaron en la parte baja del barrio El Porvenir, del distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca específicamente en el tramo del Rio Chico comprendido entre las coordenadas UTM E: 815808.964, N: 9241000.869 y E: 815835.845, N: 9241281.096; así como el tramo del Rio Grande entre las coordenadas E: 816019.043, N: 9241029.240 y E: 815633.374, N: 9241603.987.

Esta tesis tuvo una duración de dieciocho meses comprendido entre los meses de marzo del 2023 a octubre del 2024.

Para la identificación del peligro, vulnerabilidad y estimación del riesgo se utilizaron los criterios del “Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales” de INDECI del año 2011, bajo estos lineamientos y con la información cartográfica, topográfica y meteorológica se realizó el modelamiento hidrológico e hidráulico obteniendo las zonas inundables para diferentes escenarios.

1.4. Limitaciones de la investigación

La limitación de la investigación fue la ausencia de evidencia física o huella visible del evento de inundación ocurrido en enero de 2017 en la parte baja del barrio El Porvenir. Debido al paso del tiempo y a la intervención humana en la zona, no fue posible identificar de manera directa las áreas afectadas ni la magnitud exacta del evento mediante trabajo de campo. Ante esta situación, fue necesario recurrir a fuentes secundarias, como informes técnicos emitidos por el INDECI, entrevistas a pobladores y registros de prensa, los cuales sirvieron como referencia para reconstruir el contexto del evento.

1.5. Alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación es de tipo espacial y técnico, está orientado a determinar el nivel de riesgo por inundación en función del peligro y la vulnerabilidad según los lineamientos del “Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales” (INDECI, 2011), para lo cual se realizó el modelamiento hidrológico e hidráulico a partir de series históricas de precipitación y las condiciones actuales del territorio, con el propósito de delimitar las zonas susceptibles a inundación y cuantificar su grado de afectación.

1.6. Objetivo

1.6.1. Objetivo general

Determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial de la parte baja del barrio El Porvenir, distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Reconocer y determinar las condiciones físicas, geomorfológicas y la distribución de uso de suelos en el ámbito de estudio del barrio el Porvenir.
- b) Recopilar y procesar información cartográfica, topográfica e hidrológica requerida para su integración en el análisis del riesgo de inundación.
- c) Estimar el período de retorno asociado al caudal máximo que provocó la inundación del año 2017, con el propósito de determinar la frecuencia de ocurrencia de fenómenos similares.
- d) Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico de las microcuencas del río Chico y río Grande, para períodos de retorno de 5, 15, 50 y 200 años, así como el evento que generó la inundación del año 2017.
- e) Determinar el nivel de riesgo por inundación en el barrio El Porvenir, a partir del análisis conjunto de los factores de peligro y vulnerabilidad, para los períodos de retorno considerados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Internacionales

Análisis de riesgo de inundación con modelo bidimensional de la quebrada “Caupicho”. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. (Gualotuña y Guevara, 2024).

Tuvo como objetivo primordial elaborar mapas de riesgo a partir de modelización numérica bidimensional con IBER de la quebrada en mención, con la finalidad de identificar las áreas de mayor y menor riesgo a inundación.

Para ello vinculó el peligro a inundación con las velocidades y los niveles de alcance del agua, combinados con un criterio cualitativo de vulnerabilidad según el uso del suelo en las áreas afectadas por inundaciones. En conclusión, los escenarios del modelo bidimensional mostraron velocidades más altas, entre 4 y 6 m/s en el segundo tramo de la quebrada (calle 21 de agosto), lo que provoca procesos de erosión, esta calle es considerada de alto riesgo de inundación, con niveles de agua que pueden llegar hasta 4 metros de altura, además las dimensiones del canal no son adecuadas para manejar el volumen de agua generado por lluvias intensas.

Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. (Londoño, 2021).

Contó con el objetivo principal de calcular y zonificar cuantitativamente el riesgo probabilista de inundación, mediante la modelación de diversos escenarios estocásticos de lluvias intensas sobre la cuenca del río Supía, considerando diferentes períodos de retorno.

Utilizó datos de series temporales de 23 años sobre precipitaciones diarias en seis estaciones pluviométricas, se generaron 1000 años de series estocásticas de lluvia, de los cuales se identificaron 443 eventos de lluvia intensa, dando lugar al cálculo de 122 hidrogramas. El análisis muestra que, con base en la

zonificación de las pérdidas a partir de la PAE (Pérdida Anual Esperada), los elementos que presentarían la mayor proporción de pérdidas según la prima anualizada se ubican en la zona sur de la cabecera urbana del municipio. En conclusión, el estudio proporciona un entendimiento del riesgo cuantitativo por inundaciones, permitiendo ahora abordar aspectos relacionados con la reducción del riesgo de desastres, como la regulación prospectiva para evitar un incremento en la exposición y vulnerabilidad en áreas cercanas al río Supía.

Evaluación de riesgo de inundación por desborde del estero Bellavista. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Andrés Bello. (Sierra, 2020)

El objetivo principal del estudio fue evaluar los riesgos de inundación en la zona de Bellavista, en la Región del Biobío, Chile. Para esto, se analizó el nivel de peligrosidad mediante resultados obtenidos del modelamiento hidrológico e hidráulico, y se evaluó la vulnerabilidad del área urbana mediante análisis multicriterio utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Con la información procesada se crearon los mapas que muestran el nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones fluviales en el área urbana. El estudio concluyó que el sector de Bellavista está expuesto a un riesgo y peligro significativo de inundación fluvial, lo que representa una amenaza para sus residentes. Los niveles de vulnerabilidad y su distribución espacial en el sector están fuertemente ligados a las condiciones de las mareas en la desembocadura, lo que subraya la necesidad de una adecuada planificación territorial y la implementación de medidas que ayuden a reducir el riesgo de inundación y sus consecuencias.

Metodología de estimación de zonas inundables y su impacto socioeconómico en el Estado de México – México, Repositorio institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México. (Mancino, 2019).

El principal objetivo de la investigación fue crear una metodología para estimar las áreas susceptibles a inundación en la subcuenca hidrológica RH 12 Ab R. Otzolotepec – R. Atlacomulco.

Los factores y variables de vulnerabilidad permitieron clasificar la RH12 Ab en cinco grados de peligro de inundación (GPI), donde el grado de peligro Alto abarca la mayor parte del territorio, con 417 km², lo que corresponde al 36.7% del área total. Propuso una cartografía de riesgos como herramienta para un análisis integral de los fenómenos de inundación, útil también para el diseño de instrumentos de planificación y gestión territorial. El estudio concluyó que la propuesta presentada en la investigación será útil para la construcción de instrumentos de planificación y gestión territorial, que ayudarán a establecer medidas preventivas y restricciones para ciertos usos del suelo, específicamente del lugar donde se desarrollan las actividades y prácticas humanas.

2.1.2. Nacionales

Zonificación del riesgo por inundación en el tramo urbano del río Piura en situaciones de FEN. Repositorio institucional de la Universidad de Piura.
(Peña, 2021).

Esta investigación tuvo objetivo principal realizar la cuantificación del riesgo por inundación en el casco urbano adyacente al río Piura, en distritos como Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, El Tallán y La Unión.

Para lo cual realizó un análisis hidrodinámico y sedimentológico del río Piura utilizando los caudales máximos esperados para distintos períodos de retorno, también con la topografía de la zona se generó un modelo numérico del comportamiento del flujo de la inundación con el software IBER. Los resultados mostraron caudales de 400 m³/s, 2900 m³/s, 3930 m³/s y 5400 m³/s, correspondientes a períodos de retorno de 2, 10, 25 y 100 años, respectivamente. Con estos datos, se identificaron las áreas vulnerables con mayor riesgo de inundaciones, especialmente debido al fenómeno de El Niño en las inmediaciones del río Piura. En síntesis, el estudio propone un sistema de alerta frente a inundaciones que brinda a las autoridades y a la población expuesta información necesaria para comprender el nivel de amenaza y adoptar acciones oportunas orientadas a mitigar y enfrentar de manera más efectiva este tipo de eventos.

Análisis integral de riesgos para la mitigación ante inundaciones en zonas urbanas. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma.
(Bernardo y Velasquez, 2021).

Propuso como el objetivo fundamental de analizar el riesgo de inundación mediante la tecnología geomática para prevenir desbordes del río Lurín.

Para un periodo de retorno de 500 años, calcularon los caudales máximos usando el método SCS. Con la ayuda de Hec-RAS, se identificaron las zonas propensas a inundaciones en ambos márgenes del río. Se determinó el nivel de riesgo en función del nivel del peligro y la vulnerabilidad de la zona de estudio, mostrando un nivel alto en ambos aspectos. Posteriormente, al aplicar el método simplificado para la estimación del nivel de riesgo usando el manual de CENEPRED de 2014, que incluye información de tipo social, económico y ambiental, se confirmó un alto nivel de riesgo. Se concluyó que el área investigada está geográficamente ubicada en una zona con alta vulnerabilidad y riesgo de inundaciones durante períodos de grandes avenidas.

Estudio de inundabilidad del río Motupe, en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque, 2020. Repositorio de Tesis de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. (Quiroga, 2021).

Este proyecto tiene como objetivo general identificar las zonas con riesgo de inundación de Motupe urbano y rural para los períodos de retorno de 100, 200 y 500 años.

Para el análisis hidrológico se empleó el software Hec-HMS obteniendo los caudales de 468.3, 874 y 2062.4 m³/s para períodos de retorno de: 100 años, con 24.961 has; 200 años, con 41.327 has; y 500 años, con 77.986 has. Los parámetros geomorfológicos se realizaron con el programa HIDROCALC como pendiente de cuenca 0.3378, densidad de drenaje 0.645; y tiempo de concentración 19.3 h. Se realizó el modelamiento hidráulico con Hec-RAS y se obtuvieron las áreas de inundación; se ve la necesidad de construir obras de drenaje, se propuso un dique enrocado sobre lo cual se realizó nuevamente el

modelamiento obteniendo un caudal de 300 m³/s, una velocidad de 2.89 m/s y un tirante de 1.51 m, resultando satisfactorio la propuesta de solución.

Nivel de riesgo por inundación en la cuenca del río Huallaga sector San Rafael – Huánuco 2019. Repositorio Instruccional de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. (Mallqui, 2021).

Tuvo como objetivo principal identificar sus características (peligros y vulnerabilidades) de la cuenca del río Huallaga sector San Rafael para determinar el nivel de riesgo por inundación.

El estudio se desarrolló en varias fases que comprendieron la recolección, el procesamiento, la interpretación de la información y la identificación de indicadores o parámetros que ayuden a estimar el peligro y la vulnerabilidad del área de estudio, a fin de determinar el nivel de riesgo existente, para este análisis utilizó el "Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales" del INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). Concluyó que el nivel de riesgo y peligro por inundación en la cuenca del río Huallaga, específicamente en el sector de San Rafael, es de nivel medio, lo que llevó a la propuesta de construir defensas ribereñas con una longitud total de 1 736.36 m y un muro de concreto de 5.60 m de altura a lo largo de 1153.52 m, con un presupuesto total estimado para estas medidas es de aproximadamente S/ 6,795,998.60 soles.

2.1.3. Antecedentes regionales y locales

Riesgo por inundación del río la envinada en el sector Pueblo Nuevo, distrito Chontali, provincia Jaén, departamento Cajamarca. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. (Delgado, 2023).

Tuvo como objetivo primordial establecer el nivel de riesgo de inundación del río la Envinada en el sector Pueblo Nuevo, distrito Chontalí, a través de un estudio hidrológico que analiza los caudales máximos en un período de 24 horas.

Los resultados muestran que los caudales máximos para períodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años son 26.709 m³, 62.324 m³/s, 72.246 m³/s y 82.030 m³/s, respectivamente. A lo largo del tramo de río analizado encontramos tres sectores

propensos a sufrir inundación, siendo el más crítico el segundo punto, ubicado a la altura del sector Pueblo Nuevo, entre las progresivas 0+150 y 0+250. En este tramo, las áreas de inundación para los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años son 537.406 m², 1.332.171 m², 1.724.281 m² y 2.362.400 m², respectivamente. El estudio concluye que el riesgo de inundación tiene un nivel alto, con un índice de 0.61, para las avenidas máximas de los períodos de retorno analizados, este riesgo puede afectar no solo los cultivos cercanos, sino también, las viviendas de los residentes de la zona.

Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente San Mateo al puente Lloque Yupanqui, Chota. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chota. (Ticlla, 2021).

Tuvo como objetivo primordial evaluar el nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente San Mateo al puente Lloque Yupanqui, de la ciudad de Chota.

Para el estudio, se realizó la delimitación de la microcuenca hidrográfica en su punto emisor, se realizó un levantamiento topográfico del área de interés y se obtuvo los datos de la estación meteorológica Chotano Lajas esta información se integró al análisis con el fin de determinar las posibles áreas de inundación del río San Mateo para distintos períodos de retorno: 10, 25, 50 y 100 años. Los resultados indicaron áreas de inundación de 2.59, 2.77, 2.92 y 3.13 hectáreas, respectivamente. El nivel de peligrosidad por inundaciones fluviales resultó ser muy alta, con un valor de 13.60%, además realizó una encuesta a 173 familias del barrio San Mateo, identificando que 119 lotes presentaban una alta vulnerabilidad, mientras que el área verde de 12.59 hectáreas tenía baja vulnerabilidad. En conclusión, se determinó que el nivel de riesgo por inundaciones fluviales del río San Mateo es muy alto, por lo que se recomienda tomar medidas de prevención y mitigación frente a inundaciones.

Estimación del nivel de riesgo por inundación de la quebrada Cruz Blanca para la zona urbana – Cajamarca, 2020. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca. (Goicochea, 2021).

Planteo como objetivo determinar el nivel de riesgo por inundación de la parte urbana ubicada en las planicies adyacentes a las riberas de la quebrada Cruz Blanca, que se encuentra en la zona sur de la ciudad de Cajamarca.

Para este propósito, realizó un análisis detallado de las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales de la zona de estudio, utilizando esta información para evaluar el riesgo con base en las variables de peligro y vulnerabilidad. Los resultados mostraron que el nivel de riesgo por inundación en el sector es alto. Se encontró una notable falta de capacitación en gestión de riesgos hacia la población, además de pobladores asentados en terrenos muy cercanos a la quebrada misma que no cuenta con ningún tipo de obras de contención ante avenidas, factores que contribuyen a un nivel de vulnerabilidad y peligro elevado. La investigación concluye que el nivel de riesgo es alto y ante eventos de tal naturaleza existe una alta probabilidad que los pobladores del lugar sufran grandes pérdidas y vea seriamente comprometido su seguridad e integridad, por lo que es sumamente importante tomar las medidas pertinentes.

Nivel de riesgo por inundación del área urbana del distrito de Chilete - provincia de Contumazá - región Cajamarca. Repositorio Institucional Universidad Privada del Norte. (Mostacero, 2020).

Determinar las características geográficas y geomorfológicas de la subcuenca Quebrada de Huertas y establecer el nivel de riesgo de inundación en el área urbana.

Los resultados muestran que la subcuenca tiene un área de 100.784 km² y un perímetro de 42.333 km, el índice de Gravelius es de 1.32, con un coeficiente de forma de 0.72 y un coeficiente de escorrentía de 0.52. El déficit de escurrimiento fue de 0.52, mientras que la pendiente del cauce principal es de 0.086% y el coeficiente de agotamiento es de 0.0227. El estudio concluye que en la zona de riesgo se identificó un nivel alto de vulnerabilidad, alcanzando el 56%. Los factores que contribuyen a mayorar el nivel de vulnerabilidad son: la construcción de viviendas muy cercanas a los causes de agua, la utilización de materiales precarios, la falta de asesoría por parte de profesionales y la escasa o nula capacitación hacia la población del lugar.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. inundaciones

Las inundaciones se definen como el desbordamiento o acumulación de agua sobre porciones de terreno que normalmente permanecen secas, causado por el incremento del caudal de ríos o lagos, lluvias intensas o una deficiente capacidad de drenaje. Estos eventos pueden desarrollarse lentamente o producirse de manera repentina, generando daños materiales y afectando la seguridad e integridad de las personas (Keim, 2011).

Inundación fluvial

Una inundación fluvial es un fenómeno hidrológico que ocurre cuando el nivel del agua de un cauce o cuerpo de agua, supera su capacidad de desbordamiento invadiendo las planicies adyacentes (WMO, 2012).

2.2.2. Gestión de riesgos de desastres

La ley 29664 del 2011 establece que la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) es un proceso para prevenir, reducir y controlar los riesgos de desastres. Su objetivo es preparar a la sociedad para responder a desastres, protegiendo vidas y bienes. También engloba la prevención, atención y pasos necesarios para que la población afectada recupere su funcionalidad tras un desastre (CENEPRED, 2014).

2.2.3. Caracterización de peligro

El peligro es la probabilidad de que un fenómeno natural de cierta magnitud ocurra en un área o localidad específica, con potencial de causar daños a zonas habitadas, infraestructura física o al medio ambiente (INDECI, 2006).

El peligro depende tanto de la probabilidad de que ocurra un fenómeno como de su intensidad. La intensidad, por su parte, se determina según la profundidad y la velocidad del agua, además de la duración de las inundaciones (INDECI, 2011).

$$Peligro por inundación = f(\text{Intensidad} \times \text{Probabilidad de ocurrencia})$$

Donde:

- Intensidad = f (profundidad de agua, duración, velocidad)
- Probabilidad = f (precipitaciones, eventos desencadenantes [tormentas], cambios Climáticos).

Criterios para determinar el nivel de intensidad o magnitud de la inundación.

Según el tipo de inundación, se utilizan distintos criterios para evaluar la intensidad. En el caso de inundaciones estáticas, se mide la profundidad o la altura del flujo. Para las inundaciones dinámicas, se recomienda calcular el producto de la velocidad por la altura del flujo, la ponderación de la intensidad de las inundaciones se realiza según la siguiente tabla.

Tabla 1
Nivel de intensidad de las inundaciones

Niveles de intensidad	Altura de flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Altura x Velocidad. del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)	Rangos
Muy alta	$H > 1.5 \text{ m}$	$H^*V > 1.5 \text{ m}$	$0.75 < F \leq 1.00$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < H^*V < 1.5 \text{ m}$	$0.50 < F \leq 0.75$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$	$0.25 \text{ m} < H^*V < 0.5 \text{ m}$	$0.25 < F \leq 0.50$
Baja	$H < 0.25 \text{ m}$	$H^*V < 0.25 \text{ m}$	$0.00 < F \leq 0.25$

Fuente: INDECI (2011).

Criterios para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o período de retorno de la inundación.

Indica el intervalo de tiempo promedio entre eventos de inundación de igual o mayor intensidad. Se calcula utilizando datos históricos de inundaciones y permite estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros (INDECI, 2011), la ponderación de la frecuencia de ocurrencia de las inundaciones se realiza según la siguiente tabla:

Tabla 2
Frecuencia en relación con los períodos de retorno

Frecuencia	Período de retorno en años	Rangos
Muy alta	$1 < T < 5$ años	$0.75 < F \leq 1.00$
Alta	$5 < T < 15$ años	$0.50 < F \leq 0.75$
Media	$15 < T < 50$ años	$0.25 < F \leq 0.50$
Baja	$50 < T < 200$ años o más	$0.00 < F \leq 0.25$

Fuente: INDECI (2011).

Determinación del nivel de peligrosidad

Los niveles de riesgo por inundación en un área determinada dependen de la periodicidad y la frecuencia como se visualiza en la Tabla 3, se puede evaluar mediante la profundidad del agua o con el resultado del producto entre la profundidad y la velocidad (INDECI, 2011).

Tabla 3
Clasificación del nivel de peligrosidad

Rangos	Frecuencia (años)			
	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Intensidad	0.75 < NP < 1	0.50 < NP < 0.75	0.25 < NP < 0.50	0 < NP < 0.25
	Muy Alta	Peligro Medio 0.25	Peligro Alto 0.50	Peligro Muy Alto 0.75
	Alta	Peligro Bajo 0.19	Peligro Medio 0.38	Peligro Alto 0.56
	Media	Peligro Bajo 0.13	Peligro Medio 0.25	Peligro Medio 0.38
	Baja	Peligro Bajo 0.06	Peligro Bajo 0.13	Peligro Medio 0.25

Fuente: INDECI (2011).

2.2.4. Caracterización de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad ante peligros por inundaciones fluviales se refiere al grado en que las personas, las infraestructuras y los ecosistemas pueden resultar afectados por el desbordamiento de ríos y cursos de agua. Esta condición se expresa en términos probabilísticos, generalmente mediante un porcentaje que oscila entre 0 y 100, y refleja la susceptibilidad del territorio frente a la ocurrencia

de un evento adverso. La vulnerabilidad se hace evidente cuando las defensas naturales o artificiales como diques, bordes de contención y sistemas de drenaje resultan insuficientes para disipar o controlar los caudales generados por lluvias intensas, crecidas súbitas o procesos de deshielo acelerado (INDECI, 2006).

Vulnerabilidad Física

Una vez identificados los elementos susceptibles al riesgo, se examinan los distintos tipos de vulnerabilidad como la localización de las viviendas, material de construcción de las viviendas, características geológicas, calidad y tipo de suelo y el cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos relacionados directa e indirectamente con el aumento del grado de vulnerabilidad.

A continuación, se muestran las matrices de evaluación:

Tabla 4
Localización de las viviendas

Indicadores	Rango	Grado de vulnerabilidad
Muy cercana 0 – 2 km	$0.75 < V \leq 1$	Muy Alto
Cercanas 0.2 – 1 km	$0.50 < V \leq 0.75$	Alto
Medianamente cerca 1 – 5 km	$0.25 < V \leq 0.75$	Media
Muy alejada > 5 km	$0 < V \leq 0.25$	Baja

Fuente: INDECI (2011).

Tabla 5
Material de construcción de las viviendas

Indicadores	Rango	Grado de vulnerabilidad
Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario	$0.75 < V \leq 1$	Muy Alto
Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	$0.50 < V \leq 0.75$	Alto
Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	$0.25 < V \leq 0.75$	Media
Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	$0 < V \leq 0.25$	Baja

Fuente: INDECI (2011).

Tabla 6
Características geológicas y suelos

Indicadores	Rango	Grado de vulnerabilidad
Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, napa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)	0.75<V≤ 1	Muy Alto
Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	0.50<V≤ 0.75	Alto
Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	0.25<V≤ 0.75	Media
Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	0<V≤ 0.25	Baja

Fuente: INDECI (2011).

Tabla 7
Normativa técnica de la construcción

Indicadores	Rango	Grado de vulnerabilidad
Conocimiento e incumplimiento de la normativa vigente	0.75<V≤ 1	Muy Alto
Con normativa vigente sin cumplimiento	0.50<V≤ 0.75	Alto
Con normativa vigente medianamente cumplidas	0.25<V≤ 0.75	Media
Con normativa vigente estrictamente cumplidas	0<V≤ 0.25	Baja

Fuente: INDECI (2011).

Para cada variable se ha establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición para la ponderación del grado de vulnerabilidad física (VF) se procederá con la siguiente formula:

$$VF = \frac{Lv + Cv + Cg + Cn}{4} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- Lv : Localización de las viviendas
- Cv : Materiales de construcción utilizados
- Cg : Características geológicas, calidad y tipo de suelo

- *Cn* : Cumplimiento de la normativa técnica vigente

En el contexto de la estimación de los tipos vulnerabilidad puede categorizarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto.

Tabla 8
Clasificación del nivel de vulnerabilidad

Nivel	Descripción	Valor
VB (vulnerabilidad baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	< de 25%
VM (vulnerabilidad media)	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 26 % a 50 %
VA (vulnerabilidad alta)	Viviendas asentadas en zonas donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización enmarca. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 51 % a 75 %
VMA (vulnerabilidad muy alta)	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 76 % a 100 %

Fuente: INDECI (2006).

2.2.5. Estimación de riesgo

El cálculo del riesgo implica un análisis y combinación de datos teóricos y empíricos en relación con la probabilidad de que ocurra el peligro identificado (P). Esto abarca la correlación entre las condiciones espacio - temporales del área estudiada, reflejadas en las diversas dimensiones de vulnerabilidad territorial (V), (INDECI, 2006).

El criterio para utilizar se basa principalmente en la aplicación de la siguiente ecuación probabilística:

$$R = f(P \times V) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- R : Riesgo
- P : Peligro
- V : Vulnerabilidad

Para organizar y clasificar el nivel de riesgo, se utiliza una matriz de doble entrada como la tabla 9 en la que un eje (vertical) muestra el valor y nivel estimado del peligro, mientras que el otro eje (horizontal) representa el nivel promedio de vulnerabilidad. El punto donde se cruzan ambos valores permite estimar el nivel de riesgo (INDECI, 2011).

Tabla 9
Clasificación del nivel de riesgo

	Vulnerabilidad Baja 0.25	Vulnerabilidad Media 0.50	Vulnerabilidad Alta 0.75	Vulnerabilidad Muy Alta 1.00
Peligro Muy Alto 1.00	Riesgo Medio 0.25	Riesgo Alto 0.5	Riesgo Muy Alto 0.75	Riesgo Muy Alto 1.00
Peligro Alto 0.75	Riesgo Bajo 0.19	Riesgo Medio 0.38	Riesgo Alto 0.56	Riesgo Muy Alto 0.75
Peligro Medio 0.50	Riesgo Bajo 0.13	Riesgo Medio 0.25	Riesgo Medio 0.38	Riesgo Alto 0.50
Peligro Bajo 0.25	Riesgo Bajo 0.06	Riesgo Bajo 0.13	Riesgo Bajo 0.19	Riesgo Medio 0.25

Fuente: INDECI (2011).

2.2.6. Cartografía

La cartografía es una disciplina que permite proyectar sobre un plano porciones de superficie terrestre, empleando una escala que permite mantener una relación de proporcionalidad entre el espacio real y su representación (Carantón, 1981).

Coordenadas geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas nos da la ubicación exacta de cualquier punto en la superficie terrestre, a partir de los valores de latitud y longitud, definidos respecto a un datum geodésico determinado (Fernández, 2001).

Proyección Universal Transversal Mercator (UTM)

El sistema de coordenadas UTM se fundamenta en una proyección cilíndrica derivada de la proyección de Mercator, la particularidad radica en que el cilindro se dispone de forma transversal al eje de rotación de la Tierra (Mendoza, 2020).

Figura 1

Zonas UTM de Perú



Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica especializada de la ingeniería que permite obtener con precisión la forma, el tamaño y la localización espacial de diversos objetos, a partir de mediciones efectuadas sobre una o más fotografías tomadas desde el espacio (Bonneval, 1972).

Modelos Digitales de Terreno (MDT)

El Modelo Digital del Terreno (MDT) se genera a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y constituye una representación tridimensional que refleja con precisión la morfología de la superficie terrestre. Se puede obtener a partir de la fotogrametría aérea (Hutchinson & Gallant, 2000).

MDE vectoriales: Las curvas de nivel y las redes irregulares de triángulos (TIN) constituyen entidades geométricas de este tipo y son ampliamente empleadas para representar el relieve de la superficie terrestre.

Estructuras Ráster: Los píxeles son las entidades básicas, cada uno representa una celda regular dentro de una estructura matricial y almacenan el valor medio de elevación correspondiente a la porción de terreno que abarcan.

2.2.7. Hidrología

Cuenca Hidrográfica

Es una superficie delimitada naturalmente por elevaciones del terreno, como cerros, laderas o montañas, dentro de la cual las aguas escurren y se concentran en un cauce principal que fluye hacia un río de mayor jerarquía, un lago o el mar (Faustino, 2000).

Cuenca Hidrológica

La cuenca hidrológica constituye la unidad básica de análisis, planificación y gestión de los recursos hídricos, al integrar en un espacio delimitado naturalmente todos los componentes físicos y dinámicos que intervienen en el ciclo hidrológico (Carabias, 2005).

Escorrentía: Es el flujo superficial generado por el excedente de precipitación que no se infiltra en el suelo, desplazándose sobre la superficie terrestre hasta concentrarse en los cauces de drenaje (Ward & Robinson, 2000)

El coeficiente de escorrentía (C) es un indicador que permite estimar la fracción de precipitación que se transforma en escorrentía superficial, una vez que el suelo alcanza su nivel máximo de saturación. Su valor está determinado por las propiedades físicas del terreno, las cuales influyen directamente en la capacidad de infiltración del agua en el suelo. (Ibáñez & Moreno, 2011).

$$C = \frac{\Delta P_n}{\Delta P}$$
 Ecuación 3

Donde:

Pn: Escorrentía Superficial

P: Precipitación total

C: Coeficiente de escorrentía

Tiempo de Concentración: es el intervalo de tiempo necesario para que la totalidad de puntos que conforman la superficie de una cuenca hidrográfica contribuyan simultáneamente al caudal registrado en la salida (Sánchez, 2022).

$$Tc = 0.066 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$
 Ecuación 4

Análisis de datos dudosos u Outlier

Este método se fundamenta en las pautas para establecer la frecuencia de las crecidas de caudales, aplicadas a un conjunto de datos recolectados mediante estaciones de conteo hidrográfico con el propósito de verificar la validez de dichos datos (U.S. Department of the Interior, 1982).

En primer lugar, se consideran los valores máximos de precipitaciones diarias en 24 horas registrados en cada año de estudio. Luego, se calcula el coeficiente de

sesgo del método a partir del coeficiente de asimetría de los valores logarítmicos de todos los datos analizados (U.S. Department of the Interior, 1982).

A continuación, se hace la evaluación para la existencia de datos dudosos altos a través de las ecuaciones 3 y 4 para los datos dudosos altos y bajos respectivamente.

$$x_H = \underline{x} + k_n \cdot s \quad \text{Ecuación 5}$$

$$x_H = \underline{x} - k_n \cdot s \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- n : número de datos
- k_n : valor recomendado obtenido de la Tabla 8.
- \underline{x} : media de los valores logarítmicos de los datos en estudio.
- s : desviación estándar.
- x_H : límite máximo o mínimo para los datos en estudio.

Asimismo, recomiendan valores para el análisis de Outlier como se visualiza a continuación:

Tabla 10
Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de la 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		

Prueba Kolmogorov – Smirnov

Método que se utiliza para evaluar la bondad de ajuste entre una distribución teórica de probabilidad y los datos observados. Este método compara el valor máximo absoluto de la diferencia D entre la función de distribución empírica $F_0(x_m)$ y la función de distribución teórica $F(x_m)$.

$$D = \text{Max}|F_0(x_m) - F(x_m)| \quad \text{Ecuación 7}$$

El contraste se realiza considerando un valor crítico d , el cual depende del tamaño de la muestra y del nivel de significancia adoptado. Si se cumple que $D < d$, se acepta la hipótesis nula, indicando que la distribución teórica se ajusta adecuadamente a los datos observados.

$$F_0(x_m) = \frac{1 - m}{n + 1} \quad \text{Ecuación 8}$$

En esta expresión, m representa la posición que ocupa el dato x_m dentro de una lista ordenada de mayor a menor, mientras que n indica la cantidad total de datos considerados en el análisis (Aparicio, 1996).

Método de la distribución normal

La función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria continua que sigue una distribución normal describe cómo se distribuyen sus posibles valores en torno a la media. Dicha función se expresa matemáticamente mediante una ecuación que depende de la media y la desviación estándar de la distribución.

$$F(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{S})^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- $F(x)$: función de densidad normal de la variable x
- x : variable independiente
- μ : parámetro de localización, igual a la media aritmética de x
- S : parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

Precipitaciones de diseño

En el ámbito nacional, la escasez de información pluviográfica representa una limitación importante al momento de elaborar las curvas intensidad, duración y frecuencia. Usualmente, los datos disponibles corresponden únicamente a precipitaciones máximas en 24 horas. Dick y Peschke desarrollaron un método que permite estimar las intensidades máximas de precipitación para duraciones de tormenta menores a una hora, estableciendo una relación entre la duración del evento y dicha precipitación máxima (Guevara, 1991).

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

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

Curva Intensidad – Duración – Frecuencia

Este componente de cálculo establece la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia, considerando su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno. La relación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- I : intensidad de la lluvia máxima (mm/h).
- K, m, n : coeficientes característicos de la zona de estudio.
- T : periodo de diseño (años).
- t : duración de la precipitación (min).

Hietograma de diseño

Luego, se procede con el cálculo de los hietogramas de diseño, los cuales se obtienen utilizando las curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante el método del Bloque Alterno, el cual se basa en la siguiente fórmula (MTC, 2014).

$$Td = n\Delta t$$

Ecuación 12

Método del bloque alterno

Técnica utilizada en hidrología para construir hietogramas de diseño a partir de una lluvia total con duración definida. Consiste en dividir la altura total de precipitación en bloques de intensidad uniforme y luego redistribuirlos alternadamente alrededor del bloque de mayor intensidad, situándolo en la posición central. De este modo se obtiene una secuencia temporal representativa de eventos críticos, adecuada para el cálculo de escorrentías de diseño en estudios hidrológicos (Chow, 1994).

Método SCS para abstracciones

Desarrollado en el año 1972, procede de las siglas en inglés para el Servicio de Conservación de Suelos. Se utiliza para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta para ello considera que la escorrentía directa (Pe) siempre es menor o igual a la profundidad de precipitación (P).

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Ecuación 13

Número de curva

Este parámetro permite la transformación del volumen de precipitación de total a efectiva, para ello considera la cobertura vegetal de la zona, el uso del suelo y su grupo hidrológico, considerando para ello la precipitación en determinado periodo de tiempo (Chow, 2013).

El número de curva de una cuenca o unidad hidrográfica se determina en función de los valores de la Tabla 11, relacionados con los porcentajes de suelo de la zona, finalmente se aplica la Ecuación 14 para determinar la diferencia máxima

entre la precipitación y el caudal a una hora de iniciada la tormenta traducida en pérdida de escorrentía por intercepción, infiltración y almacenamiento.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Ecuación 14

Donde: CN es el número de curva.

Tabla 11
Número de curva para diferentes usos de suelo

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

Fuente: Chow (2013).

1. Una buena cubierta está protegida de pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

2. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo de agua del techo dirigida hacia el césped donde puede infiltración adicional.

3. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

4. En algunos países con climas más cálidos se pueden utilizar 95 como número de curva.

Tránsito de caudales

El tránsito de caudales es un procedimiento mediante el cual se determina la evolución temporal y la magnitud del caudal expresada a través del hidrograma en un punto determinado de un cauce, utilizando como referencia hidrogramas observados o estimados dentro del mismo ámbito. Cuando se trata de un evento de creciente, dicho procedimiento se conoce específicamente como tránsito de crecientes. En esencia, permite analizar la evolución del flujo dentro de un sistema hidrológico utilizando como condición de entrada un hidrograma previamente definido (Chow, Maidment y Mays, 1994).

Hidrogramas sintéticos

Según Villón (2002), la mayoría de las cuencas no disponen de una estación hidrométrica o registros pluviográficos necesarios para el análisis hidrológico detallado. Por esta razón, resulta conveniente emplear métodos que permitan generar hidrogramas unitarios a partir de información básica relacionada con las características generales de la cuenca. Los hidrogramas obtenidos mediante este procedimiento se denominan hidrogramas sintéticos.

Un hidrograma sintético tiene como propósito reproducir o simular el comportamiento de la escorrentía que se generaría en una cuenca real, permitiendo así estimar el caudal máximo de diseño. Entre los diferentes tipos desarrollados, el hidrograma unitario triangular es el que presenta mayor aplicación práctica en estudios hidrológicos.

Hidrograma sintético triangular del SCS

Método apropiado para cuencas con superficies menores o iguales 30 km², en las cuales se dispone de información hidrológica limitada.

$$t_p = 0.6t_c$$

Ecuación 15

Donde:

t_p : Tiempo de retardo

t_c : Tiempo de concentración

El tiempo T_p en que se produce el caudal máximo puede expresarse como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p \quad \text{Ecuación 16}$$

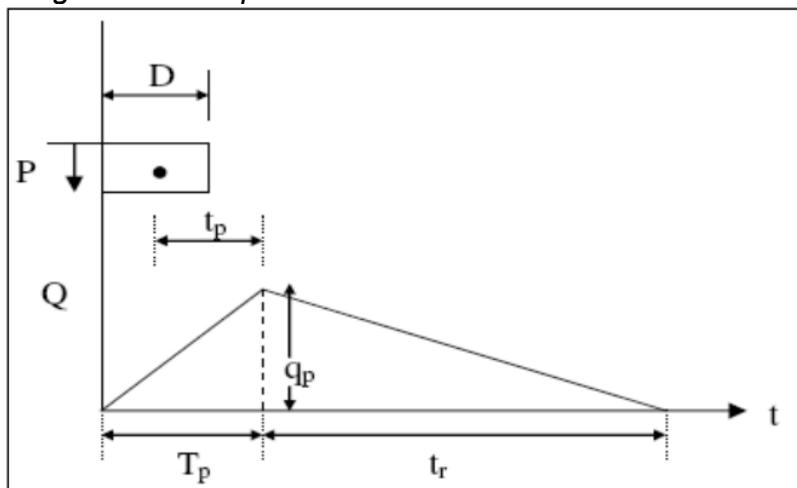
Donde:

T_p : Tiempo de ocurrencia del caudal pico (h)

D : Duración de la lluvia (h)

t_p : Tiempo de retardo (h)

Figura 2
Diagrama de respuesta transitoria del sistema



2.2.8. Hidráulica

Estimación de caudales

Cuando existen registros de aforo suficientes, se analizan estadísticamente los caudales máximos diarios de la estación hidrométrica más cercana, estimando así los caudales para el período de retorno definido mediante distribuciones de probabilidad. En ausencia de datos de aforo, se recurre a los registros de precipitaciones máximas en 24 horas como insumo para estimar el caudal generado en una cuenca (MTC, 2014).

Modelos hidrodinámicos aplicados a la simulación de inundaciones

Las ecuaciones de Saint-Venant bidimensionales, también conocidas como ecuaciones de aguas poco profundas, describen el movimiento del flujo superficial no permanente en una lámina de agua, considerando las variaciones espaciales tanto en la dirección x como en y . Estas ecuaciones se derivan de las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas en profundidad, bajo el supuesto de que la presión es hidrostática y que la profundidad del flujo es pequeña en comparación con la extensión horizontal (Chow, Maidment y Mays, 1994).

El sistema bidimensional de Saint-Venant está compuesto por una ecuación de continuidad (conservación de la masa) y dos ecuaciones de cantidad de movimiento (una por cada dirección del plano horizontal):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \tau_x \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \tau_y \quad \text{Ecuación 19}$$

donde:

- h es la profundidad del flujo (m).
- u y v son las componentes de la velocidad en las direcciones x y y (m/s)
- g es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)
- z_b representa la elevación del fondo del cauce o terreno (m)
- τ_x, τ_y son los términos de fricción en las direcciones respectivas

Estas ecuaciones son fundamentales para el modelamiento hidrodinámico en llanuras de inundación, ya que permiten representar el comportamiento del flujo superficial de forma espacialmente distribuida, considerando la interacción entre topografía, caudal y fricción (Cunge, Holly y Verwey, 1980).

Coeficiente de rugosidad de Manning

Parámetro empírico (n) que representa la resistencia al flujo en canales o cauces, considerando la rugosidad, vegetación e irregularidades del lecho (Chow, 1964).

Tabla 12

Coeficientes de Manning para llanuras de inundación

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A.1. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.010	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
A.2. Cauces			
a. Naturales			
1. Cauce limpio, recto, escenario completo, sin grietas ni pozas profundas	0.025	0.030	0.033
2. Igual que el anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Cauce limpio sinuoso, algunas pozas y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual que el anterior, pero con algunas malezas y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual que el anterior, etapas inferiores, pendientes y secciones ineficaces	0.040	0.048	0.055
6. Igual que "4" con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, llenos de maleza, Charcas profundas	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con mucha maleza, charcas profundas y densa vegetación de árboles	0.075	0.100	0.150
9. Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0.020	0.025	0.030

2.2.9. Definición de términos básicos

- **Hidráulica:** Es la rama de la ingeniería que se encarga de estudiar las propiedades y el comportamiento de los fluidos, en particular del agua, considerando sus condiciones estáticas y dinámicas, con el propósito de diseñar y optimizar sistemas de transporte, almacenamiento y control hidráulico (Chadwick & Morfett, 1998).
- **Hidrología:** Ciencia que estudia el ciclo del agua en la Tierra, analizando su distribución y movimiento a través de diversos procesos, tales como la precipitación, la infiltración en el suelo, la escorrentía, el almacenamiento en ríos o acuíferos, y la evaporación (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1982).
- **Máxima avenida:** Es un caudal de gran magnitud, capaz de hacer que los ríos, arroyos u otros canales se desborden. El caudal debe ser calculado o estimado basándose en los caudales máximos, los cuales están directamente relacionados con el período de retorno Chow, Maidmen & Mays (1994).
- **Precipitaciones máximas en 24 horas:** Es la máxima precipitación acumulada en un intervalo de una hora, registrada por una estación pluviométrica dentro del periodo comprendido entre las 07:00 horas de un día determinado y las 07:00 horas del día siguiente (MTC, 2014).
- **Modelamiento hidrológico:** referido a la representación matemática o computacional que simula los procesos del ciclo hidrológico. Permite entender, predecir y gestionar el comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica (U.S. Department of the Interior, 1982).
- **Modelamiento hidráulico:** El modelamiento hidráulico es una representación física o matemática utilizada para estudiar el comportamiento del agua u otros fluidos en sistemas hidráulicos, como ríos, canales, redes de tuberías (U.S. Department of the Interior, 1982).
- **HEC-HMS:** es un software diseñado para simular el proceso de transformación de la precipitación en escorrentía dentro de una cuenca hidrográfica (The U.S. Army Corps of Engineers, 2016)
- **HEC-RAS:** es un software de modelamiento hidráulico que permite simular perfiles de flujo, transporte de sedimentos y calidad del agua. (The U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio se ubica en la parte baja del barrio El Porvenir ubicado en la parte norte de la ciudad de Celendín.

- Distrito : Celendín
- Provincia : Celendín
- Departamento : Cajamarca

Asimismo, el sector en estudio tiene los siguientes límites:

- Norte : Caserío Pallac
- Sur : Barrio el Rosario
- Este : Río Grande
- Oeste : Porvenir Parte Alta

En cuanto a las coordenadas del área de influencia se detallan en la tabla 13, las mismas que se encuentran en el sistema WGS 1984 Datum de la zona 17 S.

Tabla 13

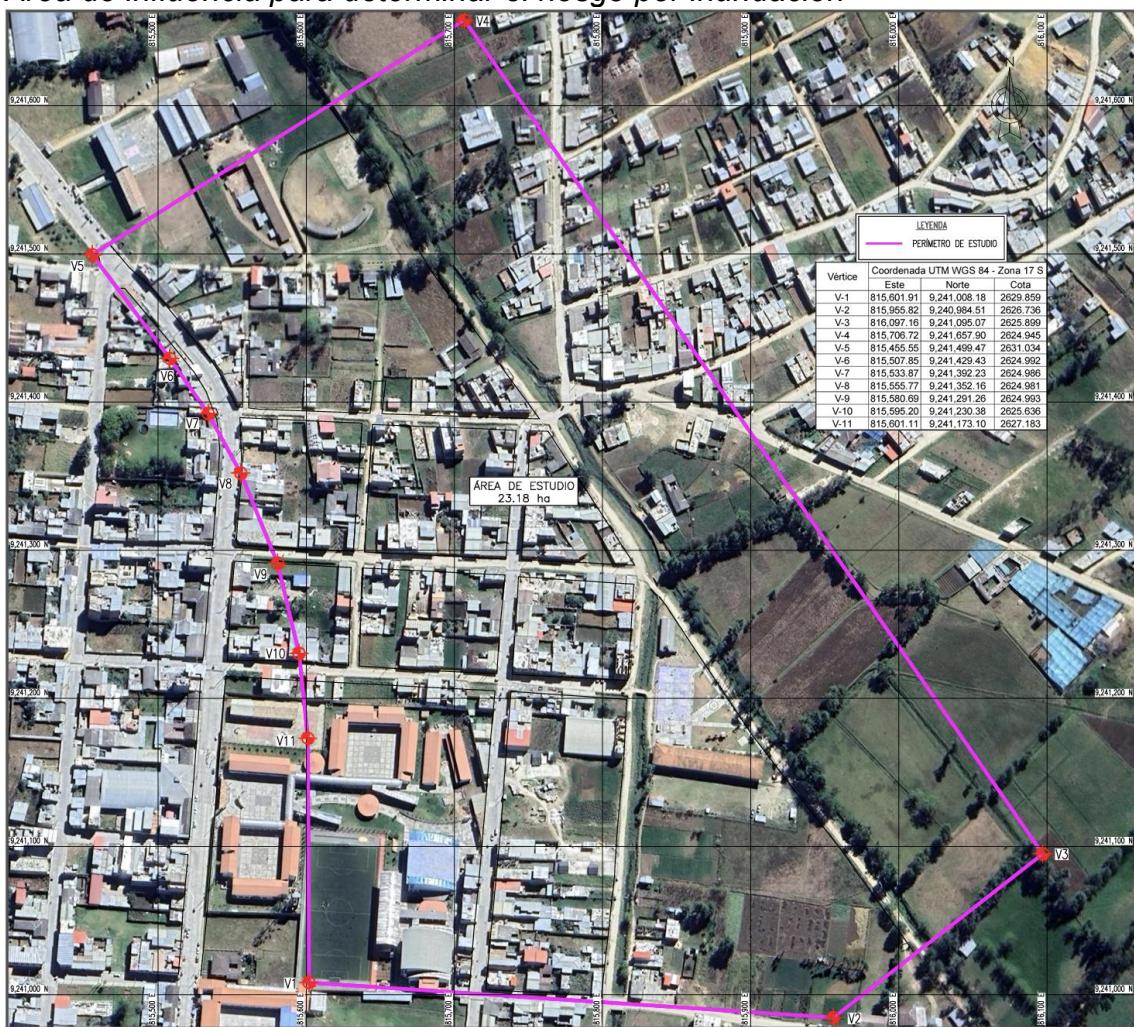
Coordenadas UTM del polígono de intervención

Vértice	Coordenada UTM WGS 84 - Zona 17 S		
	Este	Norte	Cota
V-1	815,601.907	9,241,008.179	2629.859
V-2	815,955.820	9,240,984.510	2626.736
V-3	816,097.160	9,241,095.070	2625.899
V-4	815,706.720	9,241,657.900	2624.945
V-5	815,455.550	9,241,499.470	2631.034
V-6	815,507.853	9,241,429.428	2624.992
V-7	815,533.866	9,241,392.232	2624.986
V-8	815,555.770	9,241,352.164	2624.981
V-9	815,580.691	9,241,291.258	2624.993
V-10	815,595.197	9,241,230.379	2625.636
V-11	815,601.109	9,241,173.100	2627.183

El perímetro considerado para el modelamiento hidráulico se definió en función de la huella de inundación correspondiente al evento ocurrido en 2017 y abarca aproximadamente 23.18 hectáreas.

Figura 3

Área de influencia para determinar el riesgo por inundación



3.1.2. Localización de las microcuencas hidrográficas

Las microcuencas hidrográficas del río Chico y río Grande, se encuentran dentro de la Intercuenca del Alto Marañón IV que a su vez pertenece a la vertiente hidrográfica del río Amazonas.

3.1.3. Ubicación temporal

La tesis tuvo una duración de 18 meses, comprendidos entre mayo del 2023 a octubre del 2024.

3.2. Metodología

3.2.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada con un nivel descriptivo, ya que en ella se describen acciones, situaciones y eventos sobre las unidades de análisis o variables para la determinación del riesgo en función de la vulnerabilidad y el peligro que experimenta la población del sector.

En función de los objetivos planteados y de acuerdo con las características de la investigación, se consideran las siguientes etapas:

- Primera: Análisis preliminar del área de estudio, incluyendo características de los afluentes y unidades hidrográficas, además del tipo de material predominante en las viviendas y su proximidad a fuentes de agua.
- Segunda: Levantamiento topográfico, descarga de información cartográfica y obtención de datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para la investigación.
- Tercera: Sistematización y procesamiento de la información reconociendo las variables interviniéntes.
- Cuarta: Modelamiento hidrológico e hidráulico.
- Quinta: Evaluación del peligro, vulnerabilidad y determinación del riesgo a inundación en concordancia con el Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales de INDECI - 2011.
- Sexta: Consolidación de la información obtenida en formatos adecuados como figuras, tablas y mapas.

3.2.2. Población de estudio

La población de estudio es la del barrio El Porvenir del distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, centrándose de manera particular en el ámbito geográfico correspondiente a su zona baja.

3.2.3. Muestra

La muestra seleccionada a partir de un muestreo no probabilístico intencional consta de las zonas adyacentes al río Chico y río Grande del barrio El Porvenir, en el distrito y provincia de Celendín en el departamento de Cajamarca, abarcándose un área aproximada de 23.18 hectáreas.

3.2.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis para esta investigación es la parte baja del barrio El Porvenir adyacente al río Chico y río Grande, en el distrito de Celendín, Provincia de Celendín en el departamento de Cajamarca.

3.3. Materiales

3.3.1. Información cartográfica y topográfica

Para el estudio hidrológico, se descargó desde el portal Alaska Satellite Facility de la NASA un ráster con resolución de 12.5 metros. Esta información permitió realizar el análisis correspondiente de las subunidades hidrográficas del río Chico y río Grande. Por otro lado, para el modelamiento hidráulico se llevó a cabo una fotogrametría con dron, a partir de la cual se obtuvo un ráster detallado de la morfología de la zona. En este se distinguen claramente los ríos, cultivos, áreas verdes y la parte urbana ubicada dentro del área de estudio.

3.3.2. Información de suelos

Para la estimación del número de curva (Curve Number, CN) utilizado en el modelamiento hidrológico, se empleó y trabajó sobre la base la información proveniente del documento de Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial (ZEE-OT) elaborado por el Gobierno Regional de Cajamarca. En cuanto a la capa de cobertura terrestre, fundamental para el modelamiento hidráulico, esta fue generada a partir de la ortofoto obtenida mediante un levantamiento con dron, lo que permitió una delimitación y clasificación más precisa de los tipos de cobertura presentes en el área de estudio.

3.3.3. Información meteorológica

La data meteorológica para este caso las precipitaciones máximas en 24 horas son de la estación de Celendín para el periodo de 1997 al 2023, se obtuvo la información completa directamente del SENAMHI.

3.3.4. Equipos

Con el propósito de realizar un trabajo más eficiente, los equipos utilizados consistieron en:

- Dron Mavic 2
- GPS Diferencial
- Wincha

3.3.5. Programas

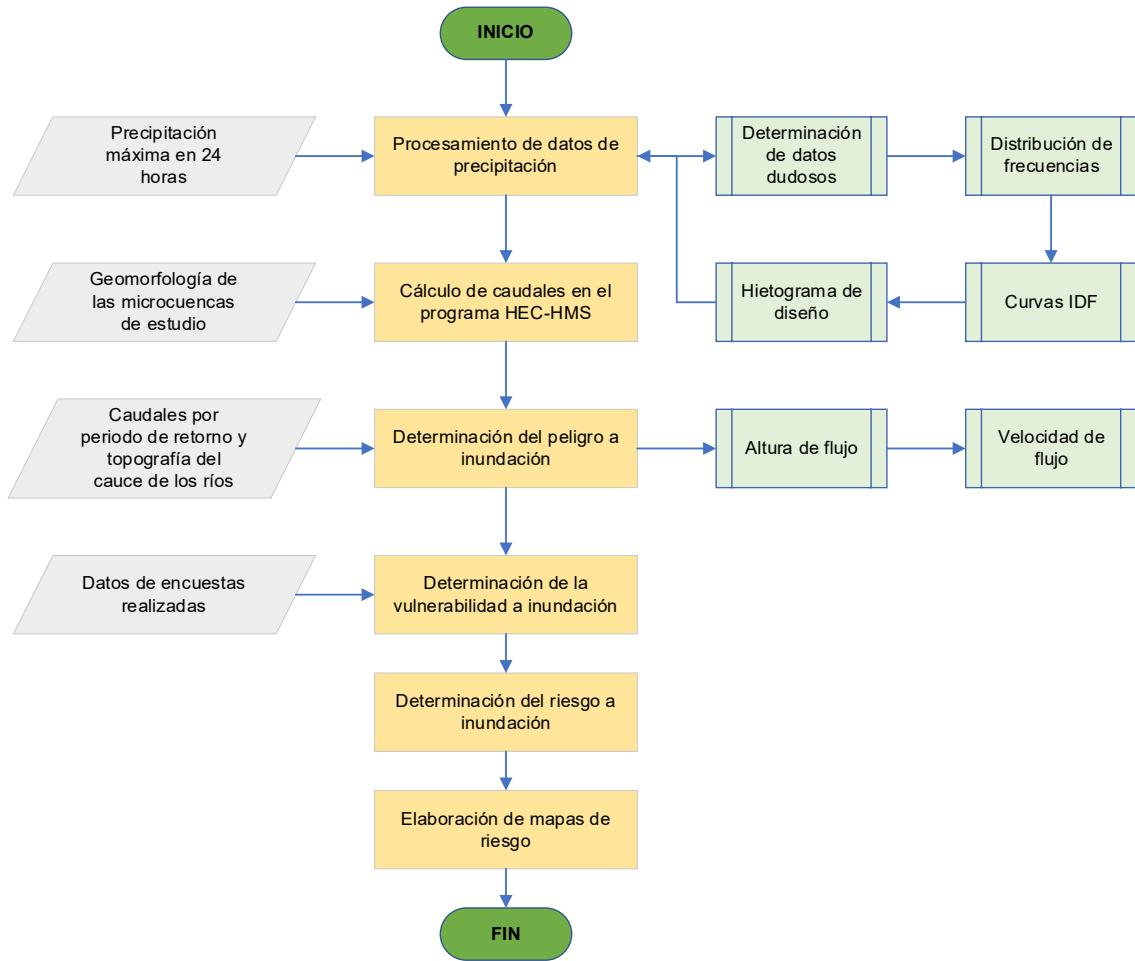
Los softwares utilizados para la realización de la presente investigación consistieron en los siguientes:

- Civil 3D 2025
- Global Mapper
- ArcMap 10.8
- Agisoft Metashape
- Hec-RAS 6.6
- Hec-HMS 4.12
- Sas Planet
- Microsoft Excel
- Microsoft Word

3.4. Procedimiento

A continuación, se procede a describir el procedimiento realizado para la obtención del riesgo a inundación en la parte baja del barrio El Porvenir, por medio del diagrama de flujo:

Figura 4
Diagrama de flujo del procedimiento de investigación



3.5. Reconocimiento de la zona de estudio

Como parte de la investigación, se llevó a cabo un reconocimiento detallado del barrio El Porvenir mediante actividades de campo, para ello se hizo el levantamiento topográfico por fotogrametría aérea, también se hizo el reconocimiento de las viviendas y sus respectivas características lo cual será de suma importancia para ponderar la vulnerabilidad en la zona de estudios, con el fin de caracterizar integralmente el área de estudio.

3.5.1. Características de la zona de estudio

El barrio El Porvenir está ubicado en la parte norte de la ciudad de Celendín, en las zonas adyacentes a la confluencia del río Chico y río Grande, el sector presenta una topografía con pendientes del orden de hasta 0.5%, lo cual indica que su relieve es plano, en el lugar aún existen muchas viviendas construidas de material rustico (adobe o tapial), sin embargo se puede apreciar que no existe sistemas de drenaje o barreras de contención ante inundaciones, en cuanto al uso de suelos podemos decir que 70.09% es zona urbana, 7.34% agrícola y 22.57% son áreas verdes.

Asimismo, se tiene el río Chico de sección 7 m de ancho por 2.75 m de altura y con una pendiente promedio de 1.05%, pasa por la parte media de la ciudad de Celendín recoge y transporta las aguas pluviales de la parte oeste de la ciudad, solo tiene caudal en épocas de lluvia, mas no en épocas de estiaje, desemboca en el río Grande en la parte baja de la ciudad de Celendín en las inmediaciones del barrio El Porvenir y Shuitute.

Por su parte el río Grande de sección de 9 m de ancho por 2.90 m de altura tiene una pendiente promedio de 1.25% recolecta y transporta las aguas de la parte Este y Sur de la ciudad, este río presenta un caudal mínimo durante todo el año su recorrido es de Sur a Norte hasta unirse al río La Llana en el valle de Languat, estos ríos forman parte de la red hidrográfica del río Marañón.

En la tabla 14 se muestra algunas características de los ríos materia de investigación, estos datos corresponden a una sección promedio dentro de los tramos de estudio y fueron calculados a partir de la ortofoto obtenida del procesamiento de la fotogrametría del sector.

Tabla 14
Dimensiones de los ríos en el tramo de estudio

Afluente	Longitud (m)	Base (m)	Altura (m)	Talud (m/m)	Pendiente (%)	Material
Río Chico	281.80	7.00	2.75	0.5:1	1.05	Sin Revestir
Río Grande	700.00	9.00	2.90	0.5:1	1.25	Sin Revestir

Figura 5

Izquierda el río Chico, derecha el río Grande



3.6. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas hidrográficas

Para el análisis geomorfológico de las microcuencas del río Chico y río Grande se partió de la delimitación de sus áreas de drenaje utilizando las líneas divisorias de aguas (*divortium aquarum*). Con esta delimitación se procedió a obtener los principales parámetros morfométricos: área, perímetro, longitud y ancho de cada microcuenca; factor de forma de Horton; coeficiente de compacidad o índice de Gravelius; relación de elongación; cotas máximas y mínimas; elevación media del relieve; pendiente media; y características altimétricas de los cauces principales. Asimismo, se calcularon la pendiente promedio de los cauces, sus longitudes, el orden de drenaje, la longitud correspondiente a los cauces de primer orden, la extensión total del sistema de drenaje, la densidad de drenaje, el coeficiente de torrencialidad y el tiempo de concentración mediante la fórmula de Kirpich. Todas estas estimaciones se realizaron empleando el entorno geoespacial de ArcMap 10.8, lo que permitió garantizar una mayor precisión en la caracterización espacial y altimétrica de cada microcuenca.

En la tabla 15 se muestra los parámetros asociados a la forma de cada una de las microcuencas hidrográficas, donde se destaca que de acuerdo al factor de Horton (Kf) de 0.33 y 0.53 se deduce que el río Chico y Grande están sujetas a creciente, en cuanto al coeficiente de compacidad se logra interpretar que la microcuenca del río Chico presenta una forma oval redonda, mientras que la microcuenca hidrográfica del río Grande es de forma oval oblonga. Para la relación de elongación se tiene que las cuencas son planas con porciones accidentadas.

Tabla 15

Parámetros de forma de las microcuencas hidrográficas

Parámetros asociados a la forma	Río Chico	Río Grande
Área (A) (km ²)	9.33	18.85
Perímetro (P) (km)	13.24	21.67
Longitud microcuenca hidrográfica (L) (km)	5.34	5.95
Ancho de la microcuenca hidrográfica (B) (km)	2.52	3.21
Factor de forma de Horton (Kf)	0.33	0.53
Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (kc)	1.22	1.40
Relación de elongación (Re)	0.65	0.82

Asimismo, en la tabla 16 se tiene los parámetros asociados al relieve de cada una de las microcuencas hidrográficas, donde se destaca que la elevación promedio de la microcuenca hidrográfica del río Chico es de 2823.84 msnm y del río Grande es de 2887.84 msnm, asimismo, de acuerdo con la pendiente media se logra interpretar que ambas subunidades hidrográficas tienen un relieve accidentando.

Tabla 16

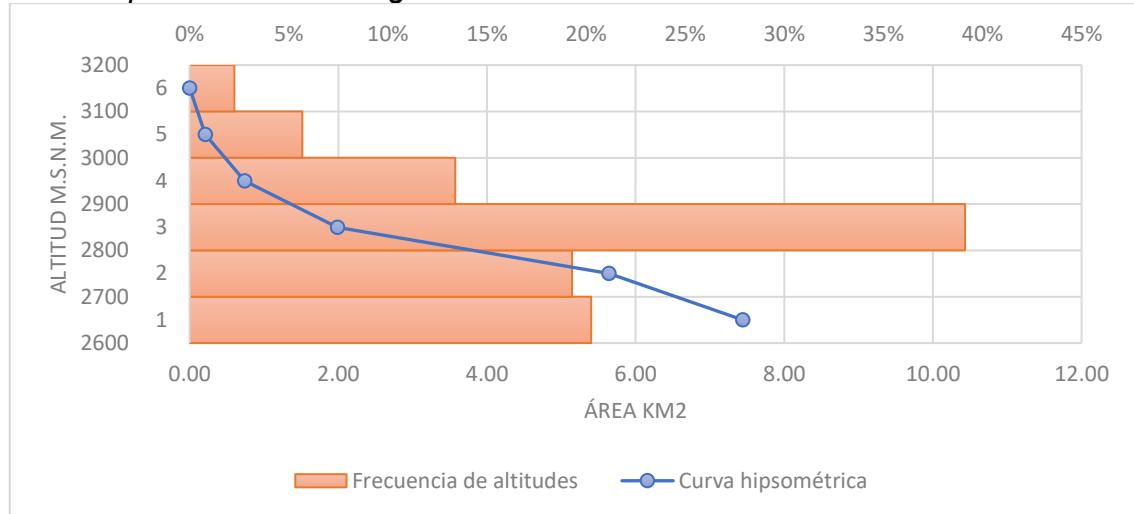
Parámetros asociados al relieve de las microcuencas hidrográficas

Parámetros asociados al relieve	Río Chico	Río Grande
Cota mayor de la microcuenca (CM)	3174.10	3449.95
Cota menor de la microcuenca hidrográfica (Cm)	2608.90	2608.90
Elevación promedio del relieve	2823.84	2887.84
Pendiente media de microcuenca (S) (m/m)	0.16	0.20

A partir de información como el área sobre la curva de nivel de determinada elevación se procedió a elaborar el gráfico de frecuencia de altitudes y curva hipsométrica de ambos ríos.

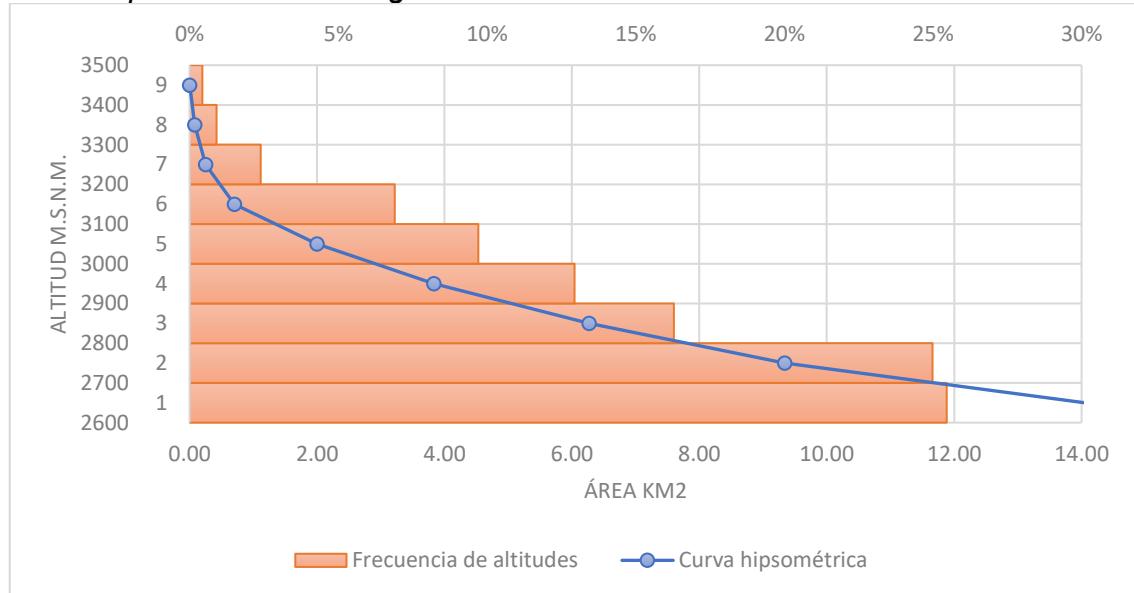
Para el caso del río Chico encontramos que se trata de un río maduro, tal como se muestra en la figura 6.

Figura 6
Curva hipsométrica e histograma del río Chico



Para el caso del río Grande encontramos que se trata de un río viejo, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7
Curva hipsométrica e histograma del río Grande



En cuanto a los parámetros asociados al perfil de los cauces, la siguiente tabla detalla algunas características importantes, donde se destaca que la pendiente es de 8.50% para el río Chico y de 7.40% para el río Grande.

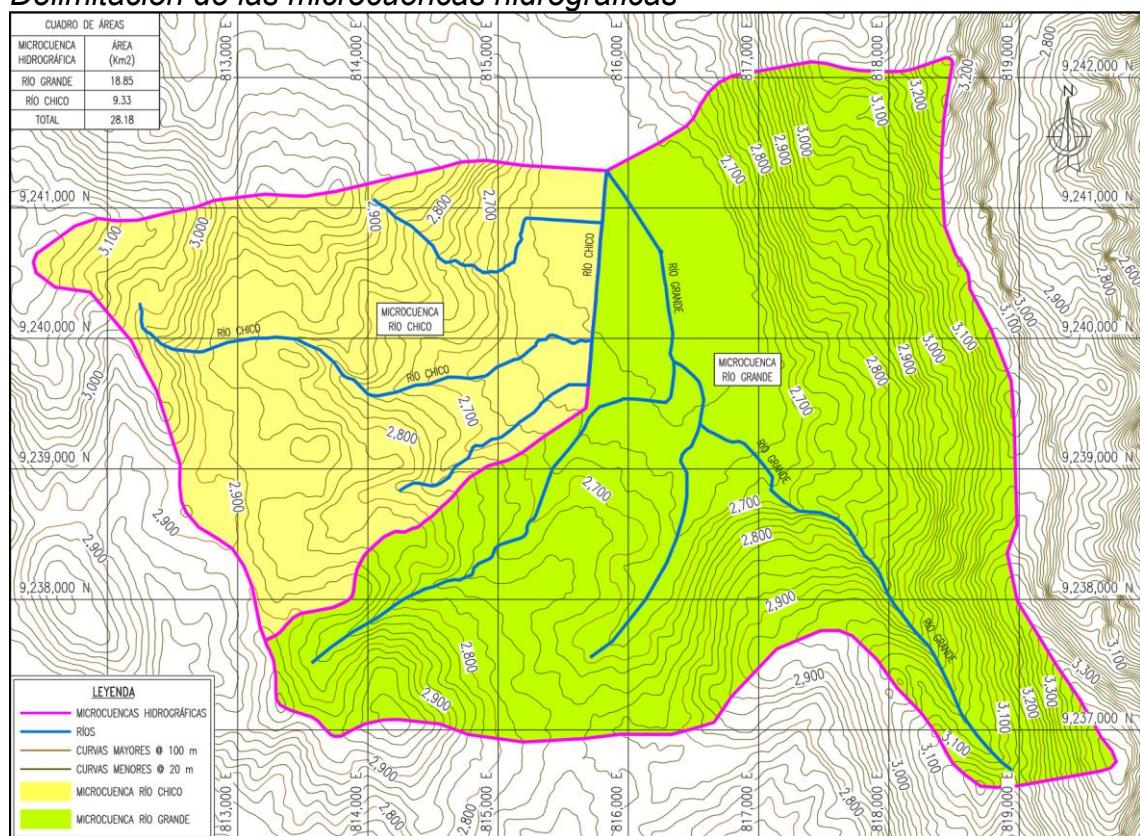
Tabla 17*Parámetros asociados al perfil de los cauces*

Parámetros asociados al perfil	Río Chico	Río Grande
Cota mayor del cauce (CMc) (msnm)	3003.185	3115.474
Cota menor del cauce (Cmc) (msnm)	2608.90	2608.90
Pendiente promedio del cauce (S0) (m/m)	0.085	0.074
Longitud de cauce principal (Lc) (m)	5336.28	5946.79

En cuanto a los parámetros asociados al drenaje de las microcuencas se tiene que el orden de los cauces es 2, el tiempo de concentración según la fórmula de Kirpich es de 39.20 min para el río Chico y 40.34 min para el río Grande, por lo que se asumió un tiempo de concentración de 40 min para ambas microcuencas.

Tabla 18*Parámetros asociados al drenaje de las microcuencas*

Parámetros asociados al drenaje	Río Chico	Río Grande
Orden de los cauces	2	2
Longitud de los cauces de orden uno (L1) (km)	8.61	6.03
Longitud de los cauces totales (Lt) (km)	9.52	7.73
Densidad de drenaje (Dd) (km/km ²)	0.99	0.42
Coeficiente de torrencialidad (Ct)	0.21	0.11
Tiempo de concentración (Tc) (min)	39.20	40.34

Figura 8*Delimitación de las microcuencas hidrográficas*

3.7. Procesamiento de datos de precipitación

Los datos de precipitación máxima en 24 horas considerados son de la estación meteorológica Celendín, ubicada en el distrito y provincia del mismo nombre, la información corresponde al periodo comprendido entre los años 1977 y 2023.

Tabla 19

Precipitación máxima en 24 horas de la estación Celendín

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1997	14.3	22.3	54.7	27.6	14.5	11.2	0	0	13.2	23.8	19.8	51.4
1998	23.1	43.6	67.4	43.2	31.5	0	0.7	0	5.6	25.1	20	14.1
1999	38	31.7	15.6	8.7	17	24.1	3	4.5	23.8	23	21.5	26.6
2000	29.6	28.4	30	30.2	9.4	19.2	1.4	6.8	20.2	3.2	18.2	27.5
2001	39	24.6	45.6	24.6	9.4	1	5.4	0	9.3	20.7	54.3	27.7
2002	23.8	18.5	43.9	56.6	14.8	1.4	14.4	0	2	52.2	21.5	24.3
2003	16.1	20.7	36.2	18.6	10.9	10.6	1.7	0.9	26.5	22.7	15.3	25.3
2004	21.7	43.2	50.1	32.5	14.8	0.0	9.0	2.5	16.4	14.8	39.2	26.3
2005	22.3	22.0	47.4	20.1	16.5	0.0	0.0	0.0	12.6	34.1	7.0	37.0
2006	38.5	27.4	55.0	28.2	3.4	5.9	6.0	3.9	13.1	29.3	27.2	19.7
2007	40.2	5.9	41.0	27.9	13.3	1.7	5.2	8.7	10.4	46.6	32.8	31.1
2008	30.6	29.9	13.2	18.1	15.3	10.9	8.8	13.5	5.0	20.1	31.2	16.2
2009	31.6	18.7	31.5	25.3	19.8	2.4	1.8	0.0	29.6	25.8	34.9	19.5
2010	40.1	64.0	49.4	14.3	17.5	1.6	14.7	3.7	17.4	26.7	22.0	21.5
2011	12.3	18.0	36.3	22.5	10.9	2.3	7.5	3.5	12.9	17.1	15.9	23.2
2012	38.1	27.4	37.8	29.8	16.1	2.0	0.0	1.1	0.3	30.7	30.2	26.6
2013	28.3	9.9	30.0	15.2	31.6	14.2	10.7	18.0	2.2	27.5	12.6	26.4
2014	19.1	28.4	25.7	53.5	27.2	0.8	0.3	3.5	13.1	21.3	30.0	22.2
2015	32.6	6.2	29.3	28.2	24.7	4.8	1.3	0.0	0.5	18.6	21.1	15.6
2016	28.1	51.9	31.4	20.1	1.4	1.6	1.8	1.1	19.8	47.9	10.8	38.0
2017	62.2	17.3	43.0	43.3	35.8	6.3	0.6	4.8	9.1	29.3	18.3	25.2
2018	23.5	20.3	40.1	23.1	21.8	12.9	0.0	0.9	26.7	25.5	40.5	15.0
2019	26.3	26.7	29.9	53.1	10.7	1.5	6.5	1.6	2.6	27.0	26.2	21.6
2020	27.3	15.8	38.6	27.5	16.1	0.0	7.0	0.6	14.2	18.1	13.7	40.6
2021	25.0	11.9	25.6	8.0	5.5	16.3	3.8	12.2	20.0	66.2	44.0	27.1
2022	35.3	35.6	45.4	23.1	6.9	13.9	5.0	2.5	19.1	26.4	18.7	23.5
2023	31.9	50.1	48.9	20.2	17.9	7.3	0.4	0.4	7.0	32.5	31.0	44.9

Para garantizar la validez y confiabilidad de estos datos, se aplicó un análisis estadístico exhaustivo que incluyó las siguientes etapas:

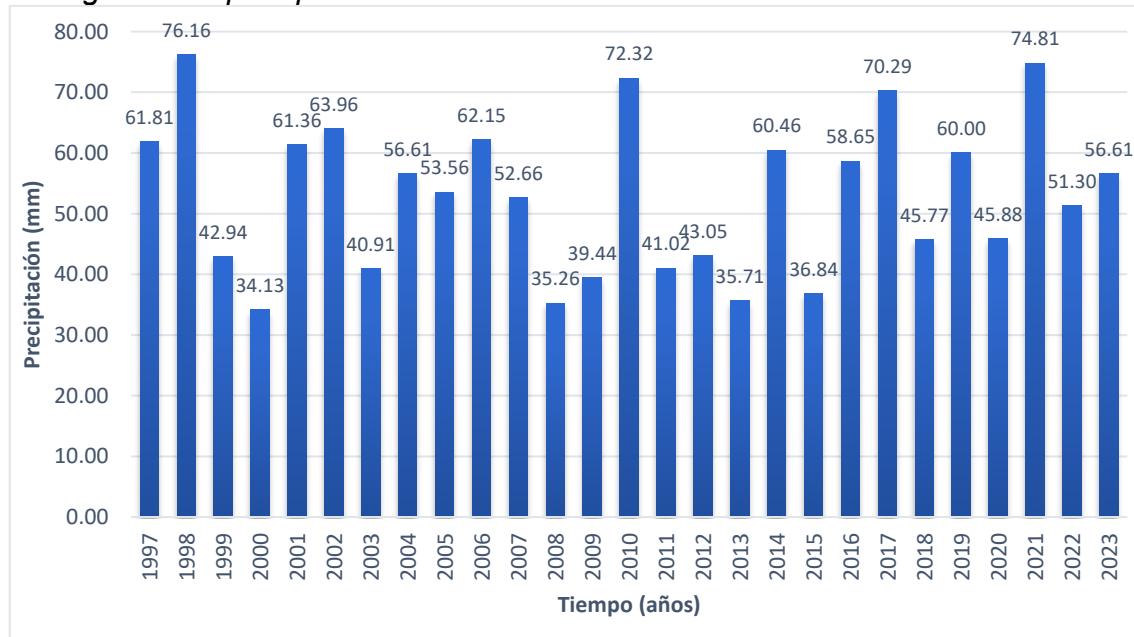
- Construcción del histograma de precipitaciones.
- Análisis de doble masa.
- Análisis de saltos y tendencias
- Análisis de datos dudosos.

- Prueba de bondad de ajuste.
- Curvas de intensidad – duración – frecuencia.
- Hietograma de diseño.

3.7.1. Histograma de precipitaciones

A partir de los datos de precipitaciones máximas anuales, se elaboró el histograma de frecuencias correspondiente, mediante el cual se analiza el comportamiento de estos eventos extremos durante el período 1977–2023. Esta representación gráfica permite identificar la distribución y frecuencia de los valores registrados, tal como se muestra en la siguiente figura.

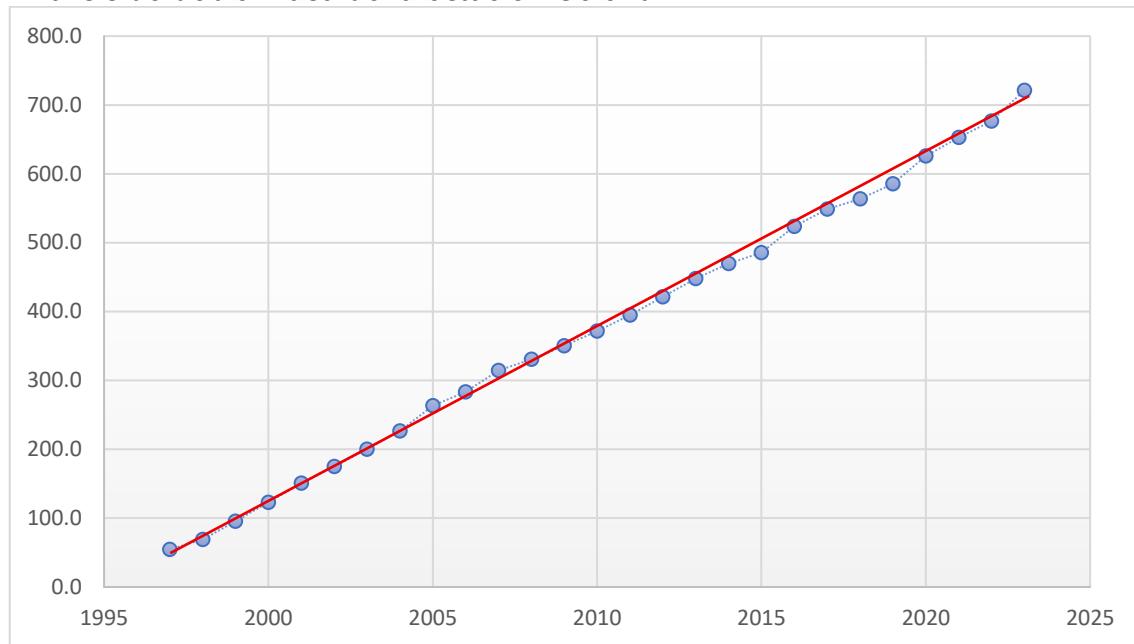
Figura 9
Histograma de precipitaciones



3.7.2. Análisis de doble masa

Se realizó el análisis de doble masa a los datos de precipitación de la estación Celendín, mediante el cual se identificó que no existen cambios significativos en la tendencia de la curva. En consecuencia, la serie de datos puede considerarse homogénea y consistente, lo cual respalda su validez y pertinencia para ser utilizada en estudios hidrológicos y en la modelación de eventos extremos, asegurando resultados confiables en la estimación de caudales.

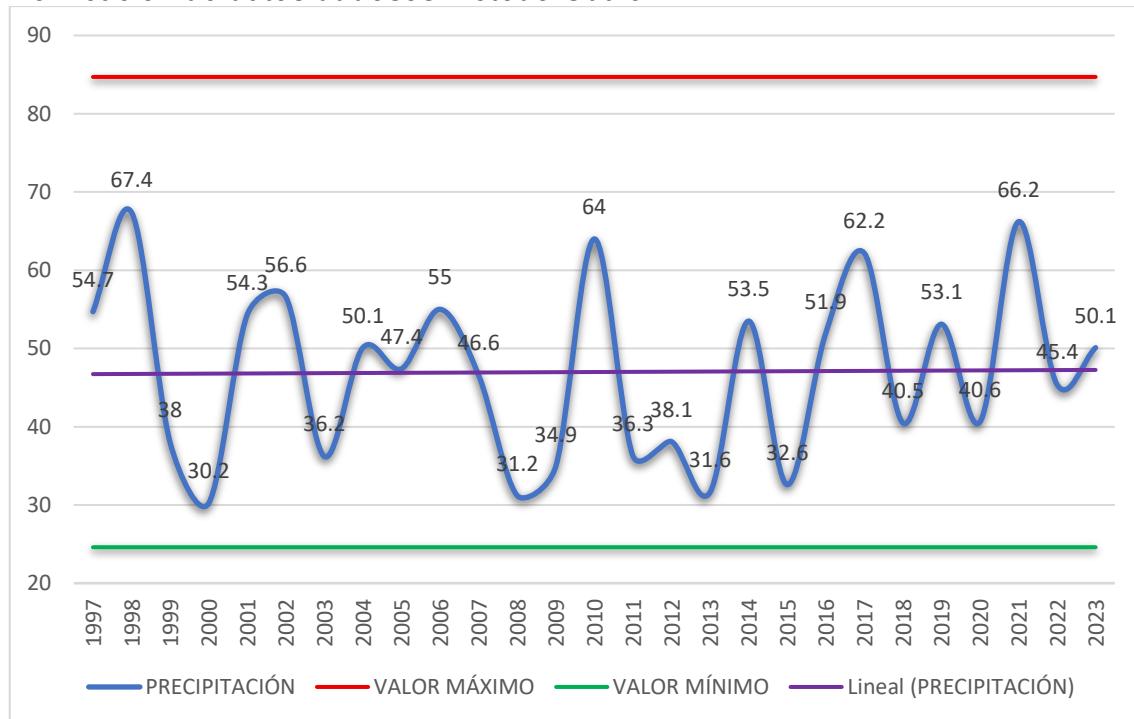
Figura 10
Análisis de doble masa de la estación Celendín



3.7.3. Análisis de datos dudosos

Según el método Outlier, se logró determinar que no se presentan datos dudosos, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 11
Verificación de datos dudosos método Outlier

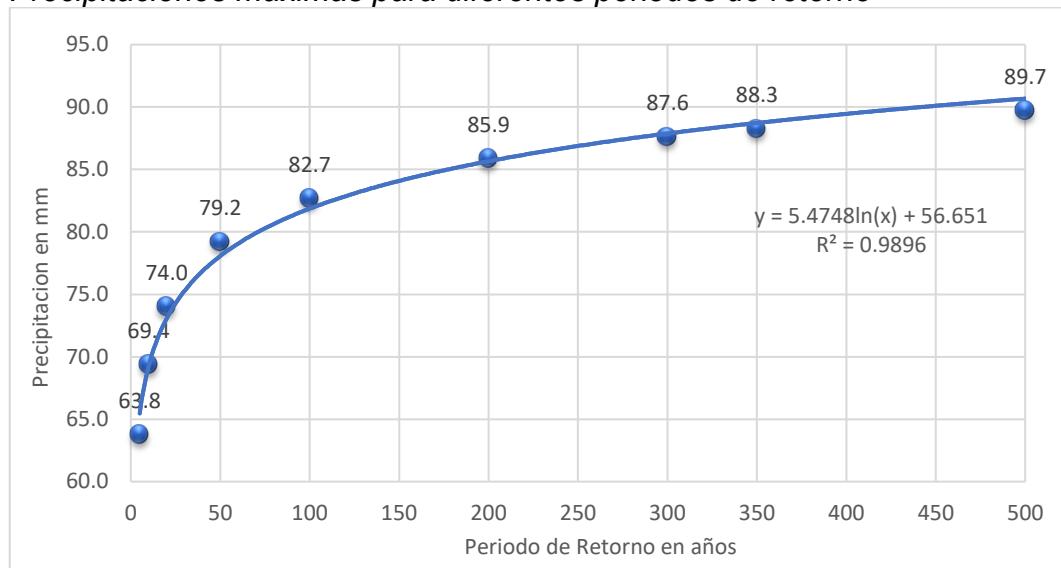


3.7.4. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas corregidas

Realizado los cálculos respectivos según la distribución normal, se encontró la siguiente regresión potencial:

Figura 12

Precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno



A partir de las precipitaciones máximas en 24 horas corregidas, y teniendo en cuenta que nuestra duración de tormenta es menor a 1 hora, calculamos las precipitaciones de diseño mediante la ecuación de Dick-Peschke.

Tabla 20

Precipitaciones de diseño por el método de Dick-Peschke

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)						
Hr	min	5	15	50	100	200	350	500
0.08	5.00	15.49	17.53	19.23	20.07	20.85	21.43	21.78
0.17	10.00	18.42	20.84	22.87	23.87	24.79	25.48	25.90
0.25	15.00	20.38	23.06	25.31	26.42	27.43	28.20	28.66
0.33	20.00	21.90	24.78	27.20	28.39	29.48	30.30	30.80
0.42	25.00	23.16	26.21	28.76	30.02	31.17	32.04	32.57
0.50	30.00	24.24	27.43	30.10	31.42	32.62	33.53	34.09
0.58	35.00	25.19	28.51	31.28	32.65	33.91	34.85	35.42
0.67	40.00	26.05	29.47	32.35	33.76	35.06	36.03	36.63
0.75	45.00	26.83	30.36	33.31	34.77	36.10	37.11	37.72
0.83	50.00	27.54	31.17	34.20	35.70	37.07	38.10	38.73
0.92	55.00	28.21	31.92	35.03	36.56	37.96	39.02	39.66
1.00	60.00	28.83	32.62	35.80	37.36	38.80	39.88	40.54

3.7.5. Curvas de intensidad – duración - frecuencia

Mediante análisis de regresión lineal múltiple obtuvimos los valores de $m=0.0726$, $n=0.7490$ y $k=2.7539$. Estos son los coeficientes de la ecuación 11.

$$I = \frac{10^{2.7539} x T^{0.0726}}{t^{0.7490}}$$

A partir de esta ecuación se elaboró las curvas IDF, considerando un tiempo de duración de 1.5 veces el tiempo de concentración.

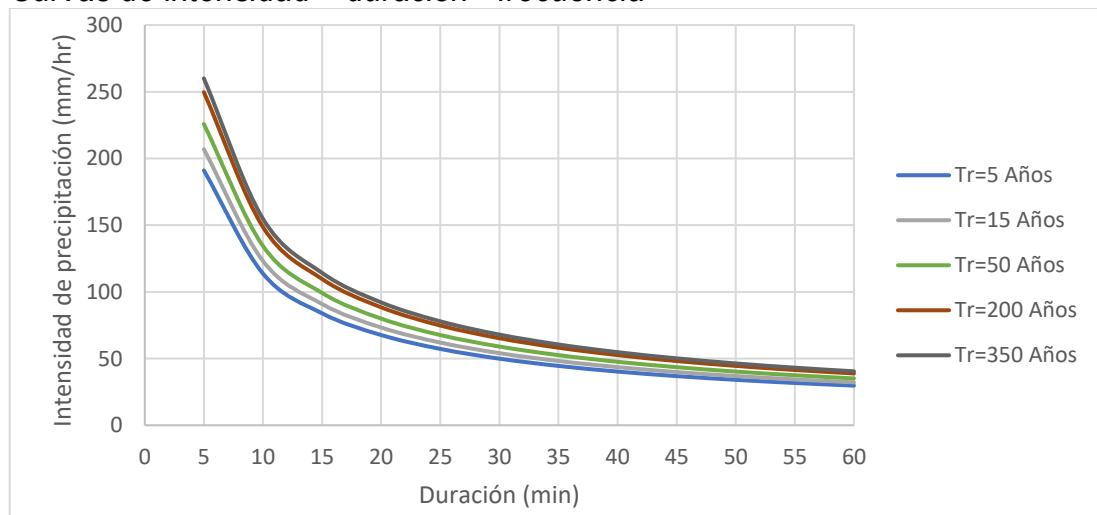
Tabla 21

Intensidad – duración – frecuencia

TIEMPO		INTENSIDAD (mm/h)					
Hr	min	5	15	50	200	350	500
0.08	5.00	191.0	206.9	225.8	249.7	260.0	266.8
0.17	10.00	113.7	123.1	134.3	148.6	154.7	158.8
0.25	15.00	83.9	90.9	99.2	109.7	114.2	117.2
0.33	20.00	67.6	73.3	79.9	88.4	92.1	94.5
0.42	25.00	57.2	62.0	67.6	74.8	77.9	79.9
0.50	30.00	49.9	54.1	59.0	65.2	68.0	69.7
0.58	35.00	44.5	48.2	52.6	58.1	60.5	62.1
0.67	40.00	40.2	43.6	47.6	52.6	54.8	56.2
0.75	45.00	36.8	39.9	43.6	48.2	50.2	51.5
0.83	50.00	34.1	36.9	40.2	44.5	46.4	47.6
0.92	55.00	31.7	34.3	37.5	41.4	43.2	44.3
1.00	60.00	29.7	32.2	35.1	38.8	40.4	41.5

Figura 13

Curvas de intensidad – duración - frecuencia



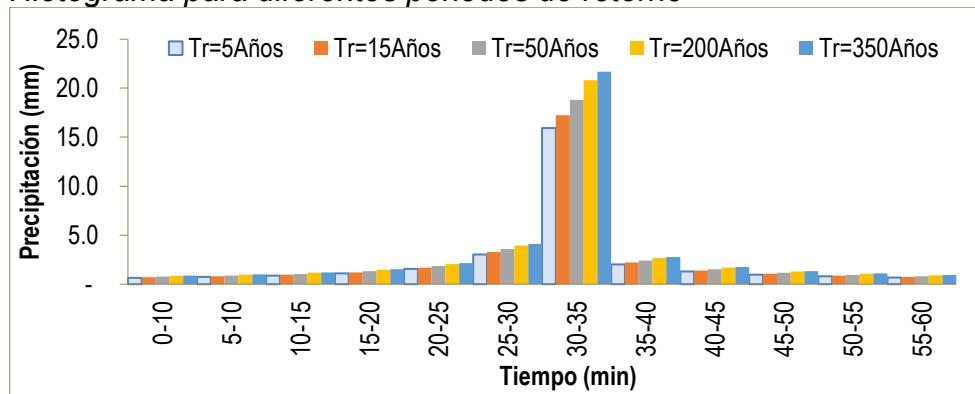
3.7.6. Hietograma de diseño

El hietograma de diseño ha sido elaborado mediante el método de bloque alterno para un tiempo de 60 minutos.

Tabla 22
Hietograma de diseño

Tiempo (min)	Precipitación Acumulada				
	5	15	50	200	350
5	0.642	0.695	0.759	0.839	0.874
10	0.741	0.802	0.875	0.968	1.008
15	0.885	0.958	1.045	1.156	1.204
20	1.117	1.209	1.320	1.460	1.520
25	1.571	1.701	1.857	2.053	2.138
30	3.026	3.277	3.576	3.955	4.118
35	15.920	17.241	18.815	20.806	21.669
40	2.030	2.198	2.399	2.653	2.763
45	1.299	1.407	1.535	1.698	1.768
50	0.985	1.067	1.164	1.287	1.341
55	0.805	0.872	0.952	1.052	1.096
60	0.687	0.744	0.812	0.898	0.935

Figura 14
Hietograma para diferentes períodos de retorno



3.8. Cálculo del número de curva

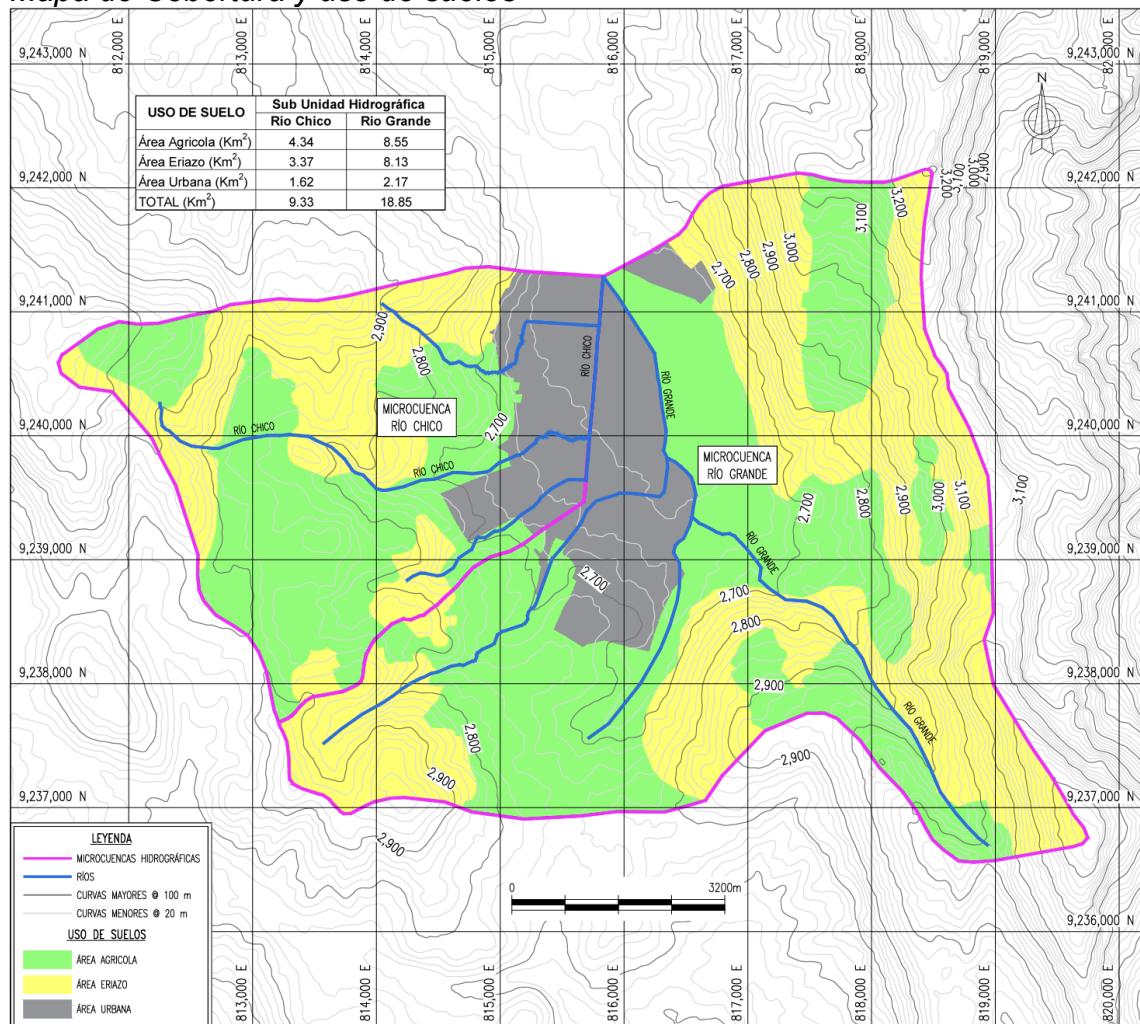
Para la estimación del número de curva se consideraron principalmente tres tipos de cobertura del suelo: áreas agrícolas conformadas por pastizales y cultivos, terrenos eriazos y zonas urbanas compuestas por viviendas, calles, parques, entre otros. Con base en esta clasificación se obtuvo un número de curva y una retención potencial de 85.75 y 8.71 para el río Chico, y de 85.11 y 9.09 para el río Grande, respectivamente.

Tabla 23**Número de curva de la microcuenca del río Chico**

Uso de suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)	CN	Número de curva	Retención potencial máxima (S)	Producto
Agrícola	4.342	46.56	81.00	37.71	11.92	5.55
Eriazo	3.368	36.11	86.00	31.06	8.27	2.99
Urbano	1.616	17.33	98.00	16.98	1.04	0.18
Total	9.327	100.00		85.75		8.71

Tabla 24**Número de curva de la microcuenca del río Grande**

Uso de suelo	Área (km ²)	Proporción	CN	Número de curva	Retención potencial máxima (S)	Producto
Eriazo	8.553	45.36	81.00	36.74	11.92	5.41
Urbana	8.133	43.13	86.00	37.09	8.27	3.57
Agrícola	2.170	11.51	98.00	11.28	1.04	0.12
Total	18.855	100.00		85.11		9.09

Figura 15**Mapa de Cobertura y uso de suelos**

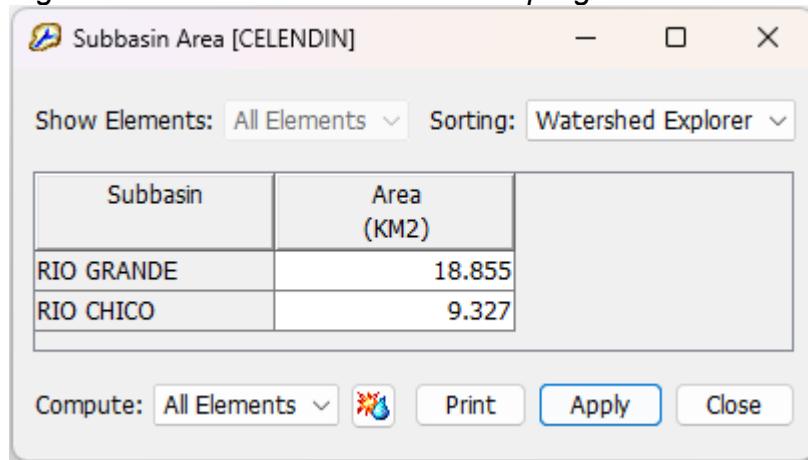
3.9. Modelamiento hidrológico

Para tal fin se consideró el área de cada microcuenca hidrográfica, el número de curva según el tipo de uso de suelos, además de los hietogramas de diseño, la abstracción inicial y el tiempo de retardo que resultó 24 minutos (60% del tiempo de concentración). Se realizó el análisis para distintos períodos de retorno (5, 15, 50, 200 y 350 años) en concordancia con el manual de INDECI (2011).

En primer lugar, se cargó la información referida al área, número de curva y la abstracción inicial de cada microcuenca en estudio.

Figura 16

Ingreso áreas de cada microcuenca programa HEC-HMS



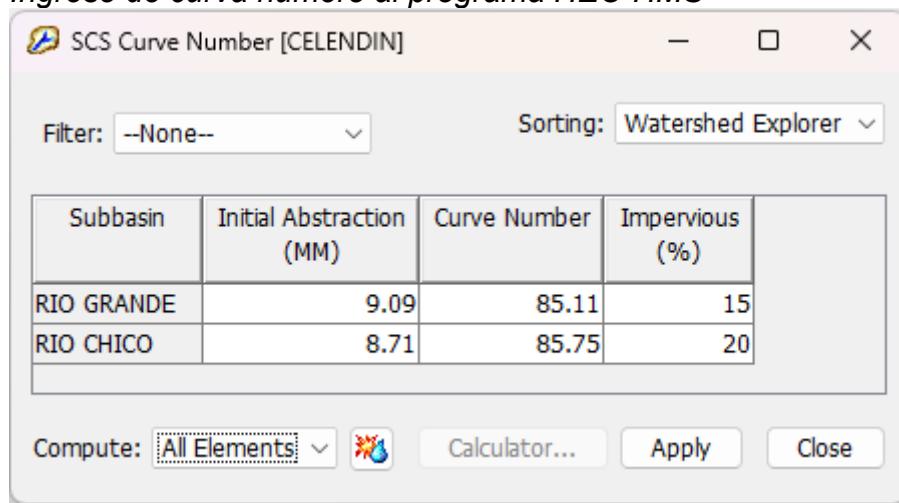
The dialog box is titled "Subbasin Area [CELENDIN]". It has "Show Elements: All Elements" and "Sorting: Watershed Explorer" dropdowns. The main table has columns "Subbasin" and "Area (KM2)". The data is as follows:

Subbasin	Area (KM2)
RIO GRANDE	18.855
RIO CHICO	9.327

Buttons at the bottom include "Compute: All Elements", a calculator icon, "Print", "Apply", and "Close".

Figura 17

Ingreso de curva número al programa HEC-HMS



The dialog box is titled "SCS Curve Number [CELENDIN]". It has "Filter: --None--" and "Sorting: Watershed Explorer" dropdowns. The main table has columns "Subbasin", "Initial Abstraction (MM)", "Curve Number", and "Impervious (%)". The data is as follows:

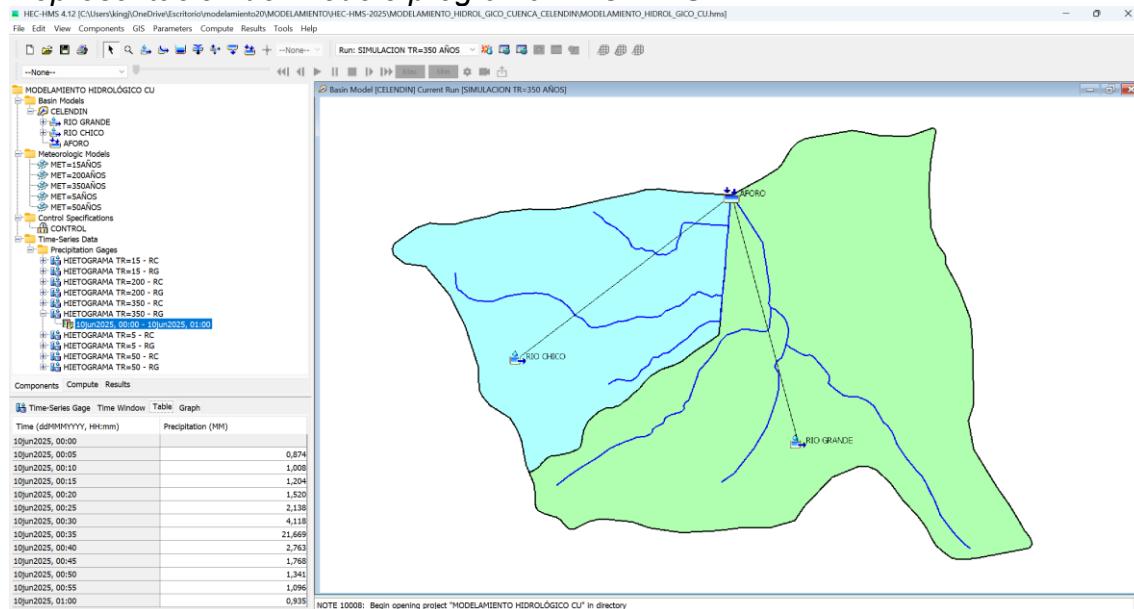
Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
RIO GRANDE	9.09	85.11	15
RIO CHICO	8.71	85.75	20

Buttons at the bottom include "Compute: All Elements", a calculator icon, "Calculator...", "Apply", and "Close".

En cuanto a los datos de precipitación se ingresaron los hietogramas para los diferentes períodos de retorno.

Así se logró contar con el modelo de ambas subcuenca en el programa HEC-HMS, según se muestra en la siguiente figura:

Figura 18
Representación del modelo programa HEC-HMS



Por último, se logró obtener los caudales para cada uno de los períodos de retorno, según se puede observar en la figura 19 y figura 20, con mayor detalle se muestra los resultados del modelamiento hidrológico con HEC-HMS en el Anexo 3.

Figura 19
Caudal obtenido para el río Chico

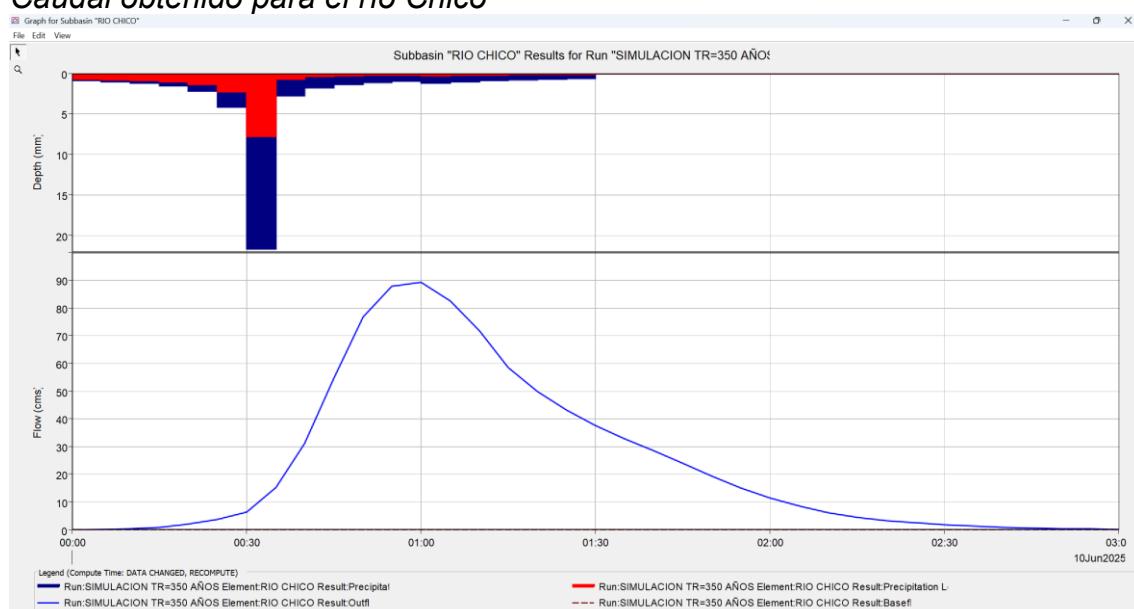
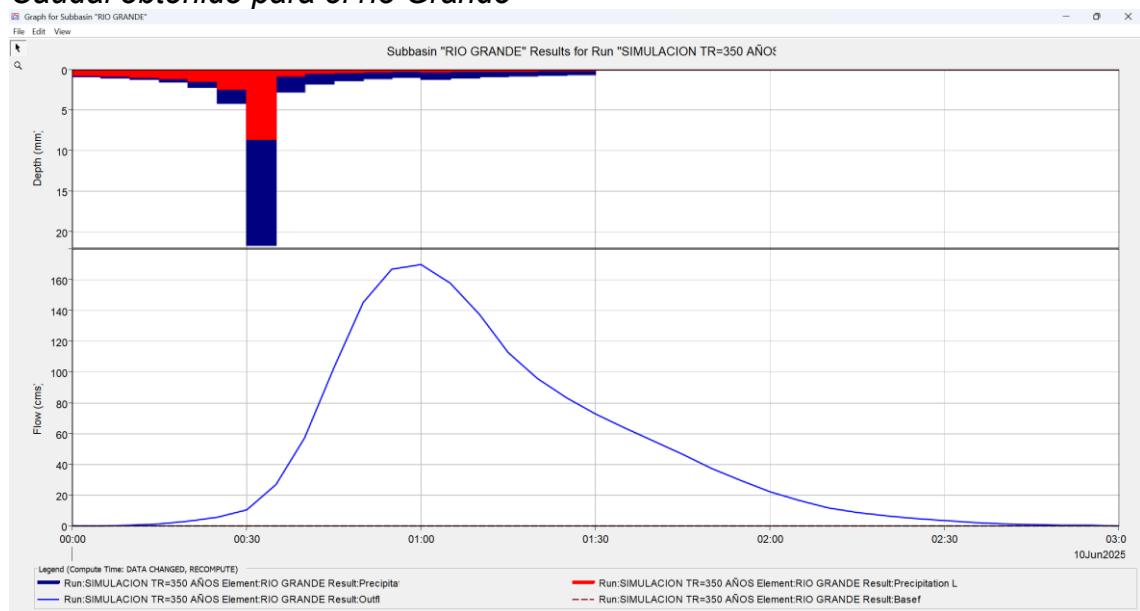
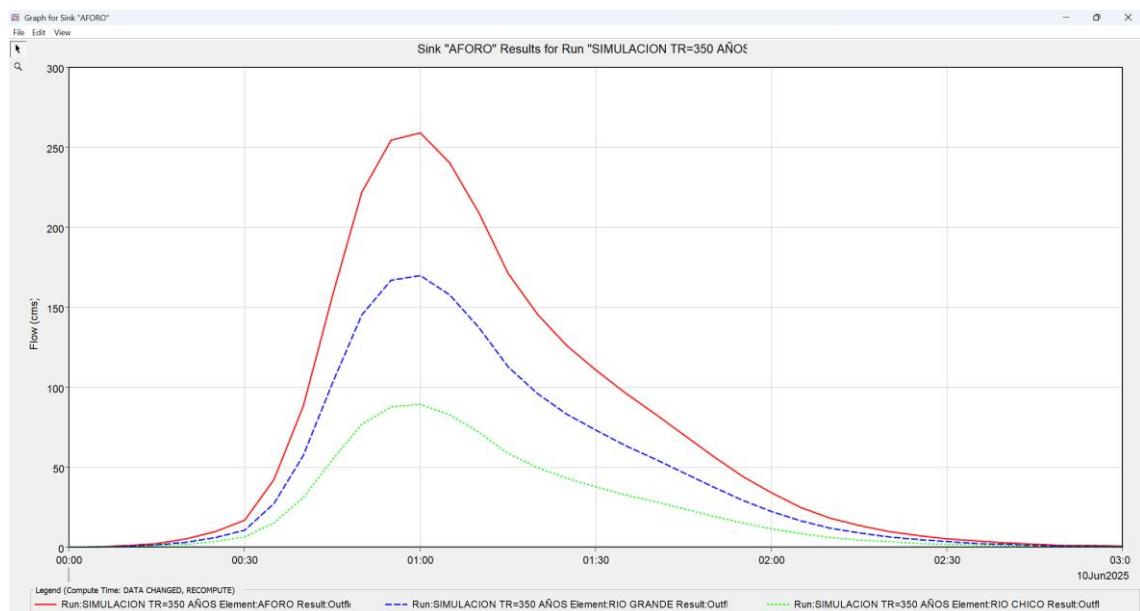


Figura 20
Caudal obtenido para el río Grande



Asimismo, el programa permite obtener el caudal pico en la confluencia de los ríos ubicada en el área de estudio, como se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 21
Caudales en la confluencia del río Chico y río Grande



A partir del modelamiento hidrológico con el software HEC-HMS para las cuencas del río Chico y río Grande, se obtuvieron los caudales de diseño para períodos de retorno de 5, 15, 50 y 200 años, siguiendo las recomendaciones establecidas en el Manual de Inundaciones Fluviales de INDECI (2011).

Asimismo, mediante un proceso iterativo se estimaron que los caudales capaces de generar una inundación similar a la ocurrida en el año 2017 son de: 89.20 m³/s para el río Chico y 169.80 m³/s para el río Grande y se repetirán aproximadamente cada 350 años. Estos valores son derivados del modelamiento simultáneo de ambas cuencas y calibrado a partir de la huella de inundación obtenida desde fuentes secundarias.

Tabla 25

Caudales obtenidos de HEC-HMS para el río Chico

Tiempo		Caudales (m ³ /s)				
Horas	Minutos	5	15	50	200	350
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.17	10	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30
0.25	15	0.70	0.70	0.80	0.90	0.90
0.33	20	1.40	1.60	1.70	1.90	2.00
0.42	25	2.50	2.80	3.10	3.50	3.60
0.50	30	4.30	4.70	5.30	6.00	6.30
0.58	35	10.10	11.20	12.60	14.40	15.20
0.67	40	20.40	22.80	25.70	29.40	31.00
0.75	45	35.90	40.10	45.20	51.80	54.80
0.83	50	50.40	56.30	63.50	72.70	76.90
0.92	55	57.70	64.40	72.60	83.20	87.90
1.00	60	58.60	65.40	73.70	84.40	89.20
1.08	65	54.30	60.60	68.20	78.10	82.50
1.17	70	47.30	52.80	59.40	67.90	71.70
1.25	75	38.80	43.20	48.60	55.50	58.60
1.33	80	33.00	36.80	41.30	47.20	49.80
1.42	85	28.60	31.90	35.80	40.80	43.00
1.50	90	25.20	28.00	31.40	35.70	37.70
1.58	95	22.00	24.40	27.30	31.10	32.80
1.67	100	19.10	21.20	23.70	26.90	28.40
1.75	105	16.00	17.80	19.90	22.60	23.80
1.83	110	13.00	14.40	16.10	18.30	19.30
1.92	115	10.20	11.30	12.60	14.30	15.10
2.00	120	7.70	8.60	9.60	10.80	11.40
2.08	125	5.70	6.30	7.10	8.00	8.50
2.17	130	4.10	4.60	5.10	5.80	6.10
2.25	135	3.00	3.40	3.80	4.30	4.50
2.33	140	2.30	2.50	2.80	3.20	3.30
2.42	145	1.70	1.80	2.10	2.30	2.50
2.50	150	1.20	1.30	1.50	1.70	1.80
2.58	155	0.90	0.90	1.10	1.20	1.30
2.67	160	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90
2.75	165	0.40	0.40	0.50	0.50	0.60
2.83	170	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40
2.92	175	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30
3.00	180	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabla 26*Caudales obtenidos de HEC-HMS para el río Grande*

Tiempo		Caudales (m ³ /s)				
Horas	Minutos	5	15	50	200	350
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.17	10	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50
0.25	15	1.00	1.20	1.30	1.40	1.50
0.33	20	2.30	2.50	2.70	3.10	3.30
0.42	25	4.10	4.50	5.00	5.70	6.00
0.50	30	7.10	7.90	8.80	10.10	10.70
0.58	35	17.70	19.90	22.40	25.70	27.20
0.67	40	37.10	41.60	47.00	54.10	57.30
0.75	45	66.20	74.30	84.10	96.90	102.60
0.83	50	93.70	105.20	119.00	137.10	145.10
0.92	55	107.80	120.90	136.80	157.50	166.70
1.00	60	110.00	123.30	139.40	160.50	169.80
1.08	65	102.20	114.60	129.50	148.90	157.60
1.17	70	89.30	100.00	113.00	129.90	137.40
1.25	75	73.50	82.20	92.80	106.50	112.60
1.33	80	62.80	70.20	79.10	90.70	95.90
1.42	85	54.60	61.00	68.70	78.60	83.10
1.50	90	48.10	53.70	60.40	69.00	73.00
1.58	95	42.10	46.90	52.70	60.20	63.60
1.67	100	36.70	40.80	45.80	52.30	55.20
1.75	105	30.90	34.40	38.50	43.90	46.40
1.83	110	25.00	27.80	31.20	35.60	37.60
1.92	115	19.60	21.80	24.50	27.90	29.40
2.00	120	14.90	16.50	18.50	21.10	22.30
2.08	125	11.00	12.20	13.70	15.60	16.50
2.17	130	8.00	8.90	10.00	11.30	12.00
2.25	135	5.90	6.50	7.30	8.30	8.80
2.33	140	4.30	4.80	5.40	6.20	6.50
2.42	145	3.20	3.60	4.00	4.50	4.80
2.50	150	2.30	2.60	2.90	3.30	3.50
2.58	155	1.70	1.80	2.10	2.30	2.50
2.67	160	1.10	1.20	1.40	1.60	1.70
2.75	165	0.80	0.80	0.90	1.10	1.10
2.83	170	0.50	0.60	0.70	0.80	0.80
2.92	175	0.40	0.40	0.50	0.50	0.60
3.00	180	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40

De este modo se obtuvo los hidrogramas de caudales reales por cada periodo de retorno (Tr) considerados estos caudales son: Para Tr=5 años se tiene un caudal de 58.60 m³/s asociado al río Chico y 110.00 m³/s asociado al río Grande, para Tr=15 años se tiene un caudal de 65.40 m³/s asociado al río Chico y 123.30 m³/s asociado al río Grande, para Tr=50 años se tiene un caudal de 73.70 m³/s asociado al río Chico y 139.40 m³/s asociado al río Grande para Tr=200 años se

tiene un caudal de $84.40 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado al río Chico y $160.50 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado al río Grande y para $Tr=350$ años se tiene un caudal de $89.20 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado al río Chico y $169.80 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado al río Grande.

En la figura 22 y figura 23 podemos apreciar estos picos de caudal gráficamente

Figura 22
Caudales por periodo de retorno Río Chico

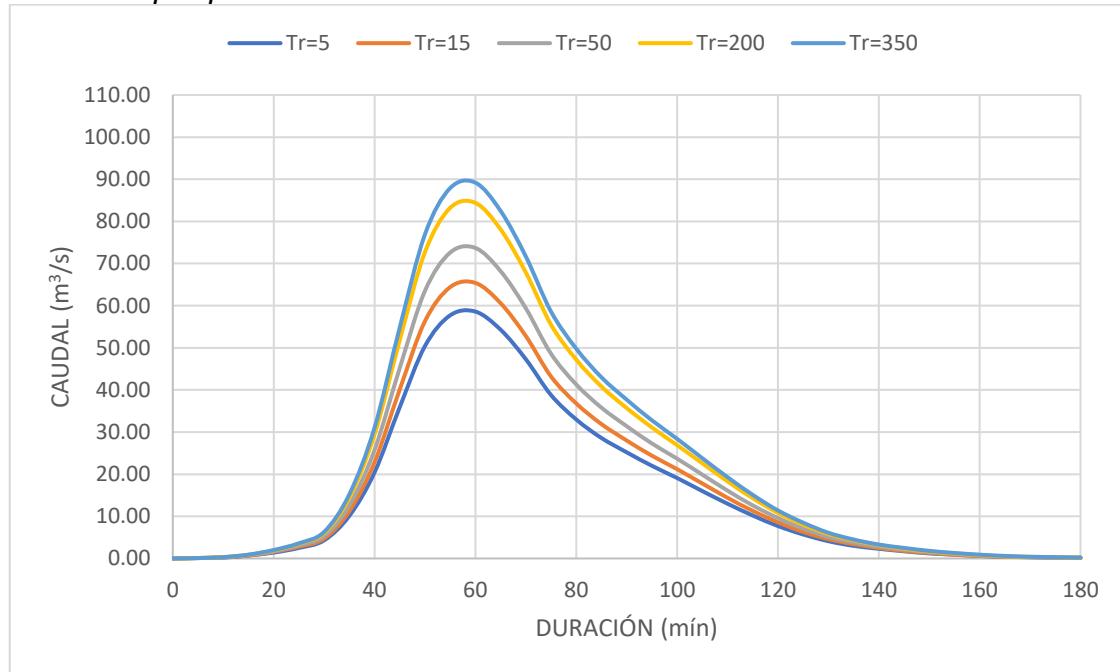
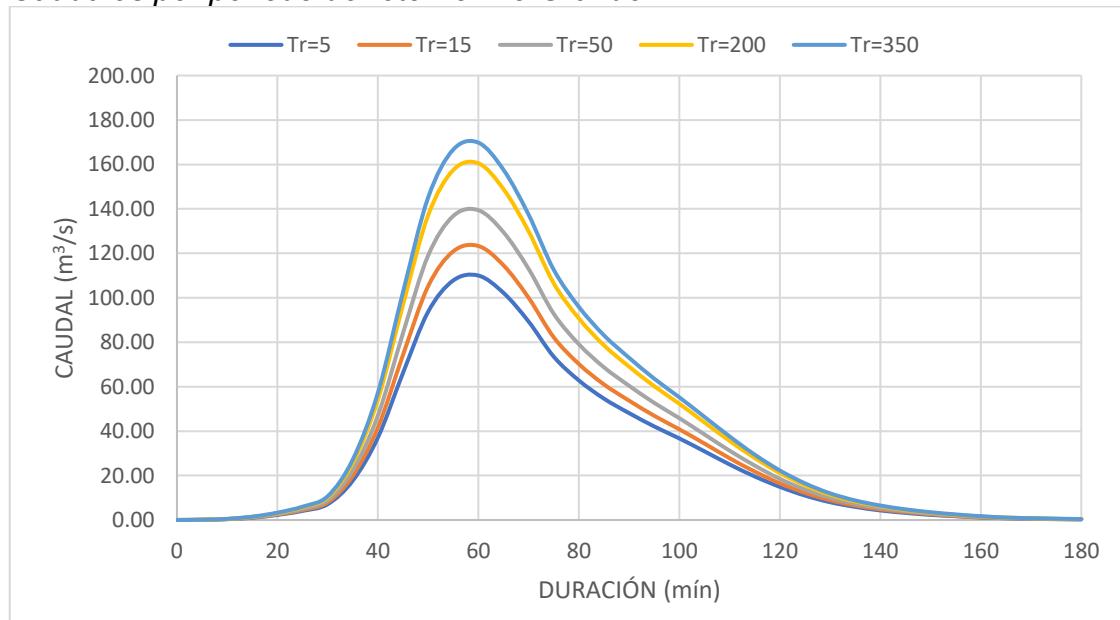


Figura 23
Caudales por periodo de retorno Río Grande



3.10. Modelamiento hidráulico

Con los hidrogramas obtenidos del modelamiento hidrológico, el modelo digital de elevaciones (DEM) y el archivo digital vectorial que contiene data de coeficientes de rugosidad de Manning se procede a la creación del modelo hidráulico.

Para ello creamos un New terrain en el módulo RAS Mapper, cargando el modelo digital de elevaciones (DEM), posteriormente, mediante las herramientas de geometría disponibles, se delineó el perímetro del área de modelado, se trazaron las líneas de rotura (breaklines) para representar con mayor precisión elementos topográficos significativos como cauces, taludes y bordes estructurales, y se definieron las condiciones de frontera, incluyendo tanto las entradas (como caudales o hidrogramas de flujo) como las salidas del sistema (condiciones de tirante normal o nivel de agua).

A continuación, se incorporó al modelo el archivo vectorial shp previamente elaborado en ArcMap, con las características de uso del suelo o cobertura vegetal. Este archivo vectorial fue importado a RAS Mapper como capa de cobertura terrestre (Land Cover Layer), el coeficiente de Manning fue asignado según el Manual de hidrología e hidráulica del MTC (2014).

Figura 24
Configuración Ras Mapper

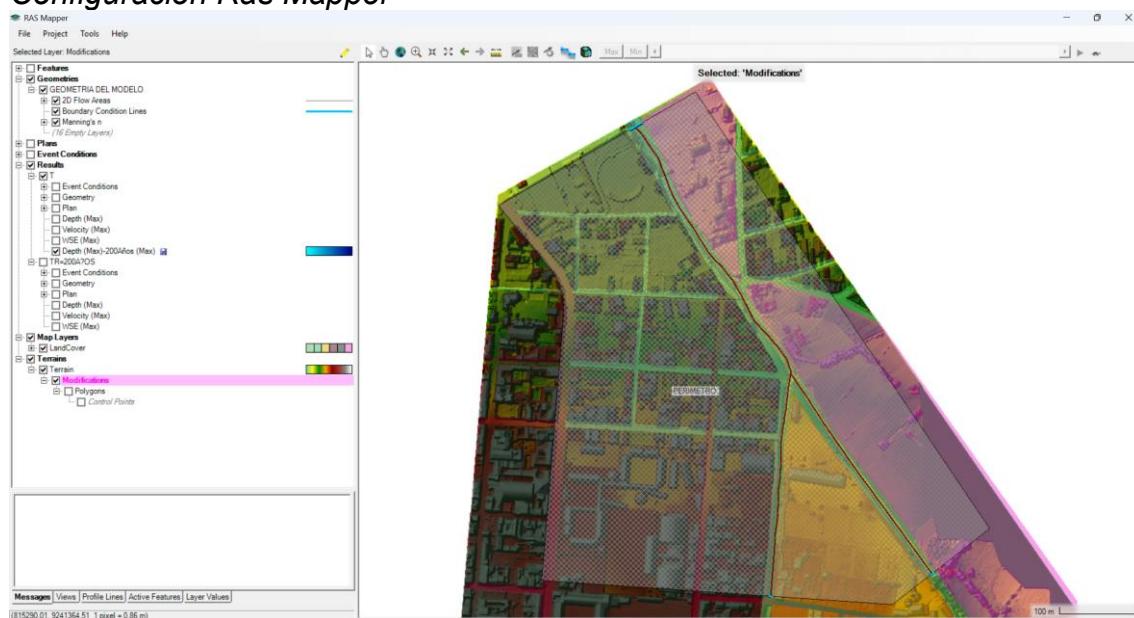
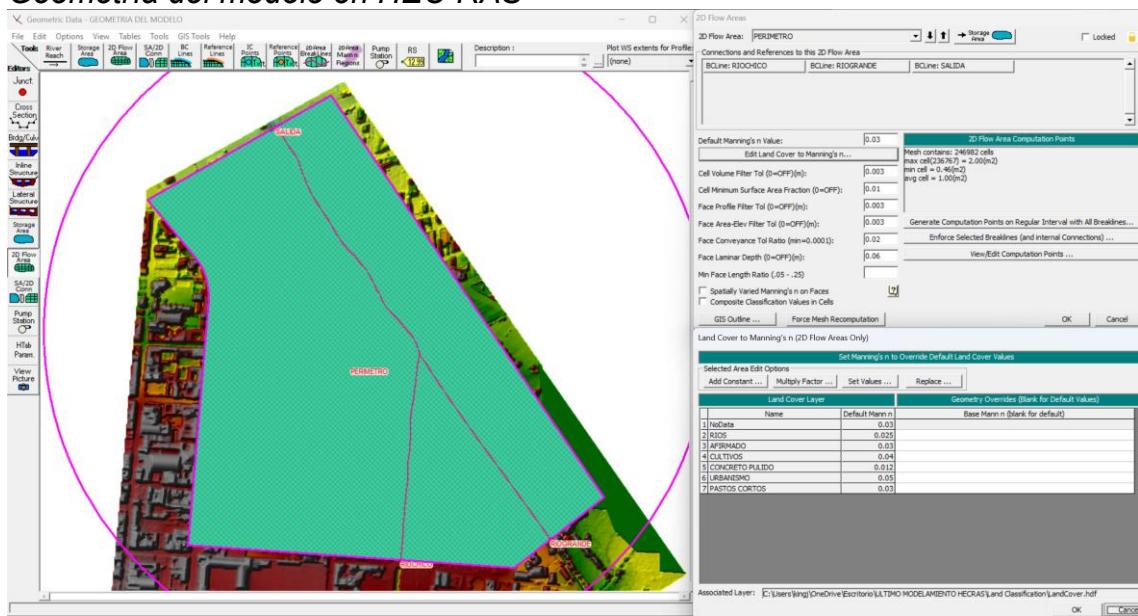
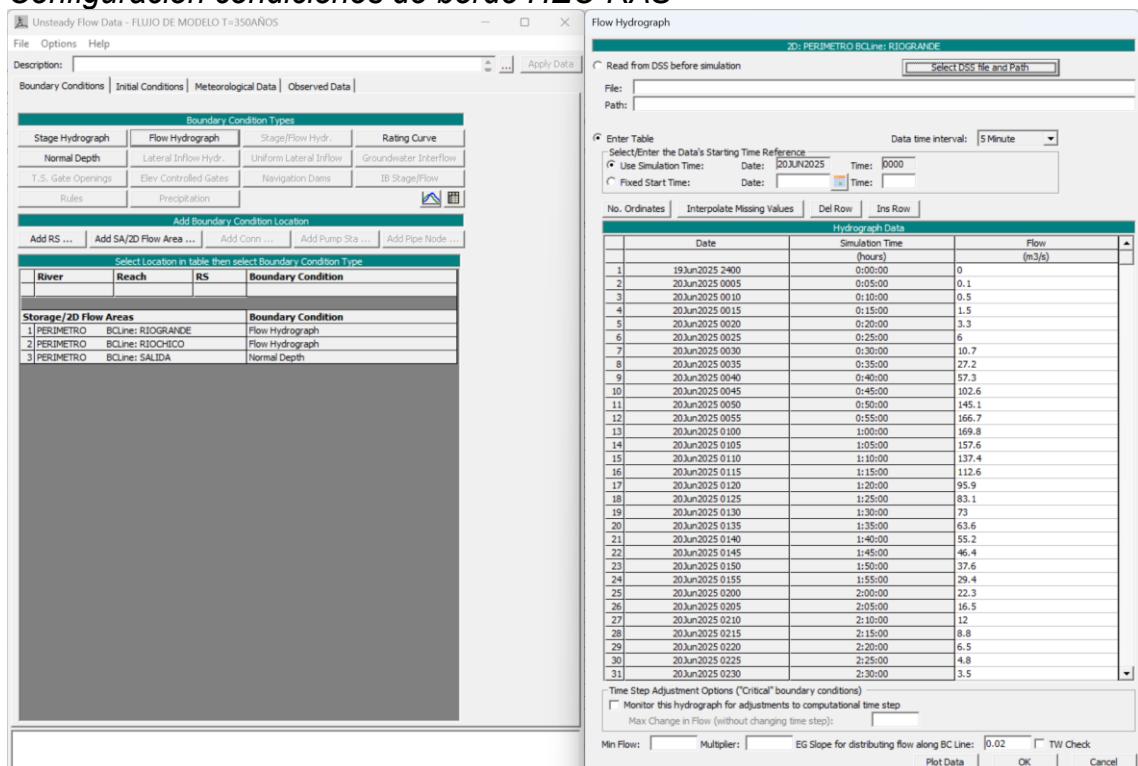


Figura 25
Geometría del modelo en HEC-RAS



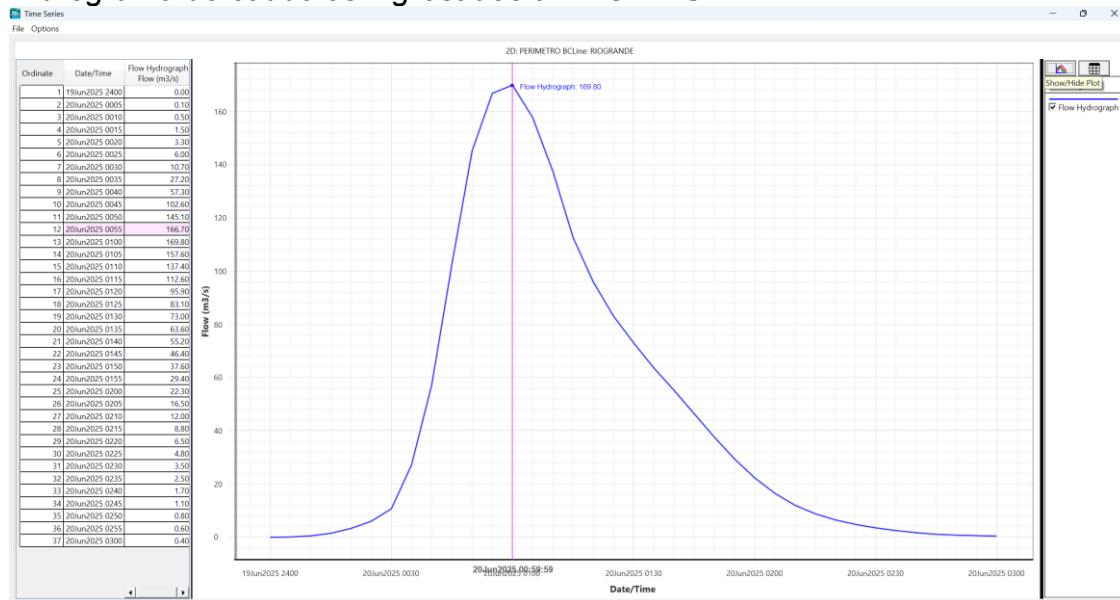
Posteriormente, se configuró las condiciones de frontera de entrada y salida para flujo no permanente, en las entradas se ingresó los hidrogramas de flujo obtenidos en el modelamiento hidráulico y en la salida ingresamos la pendiente considerando un flujo uniforme y constante.

Figura 26
Configuración condiciones de borde HEC-RAS



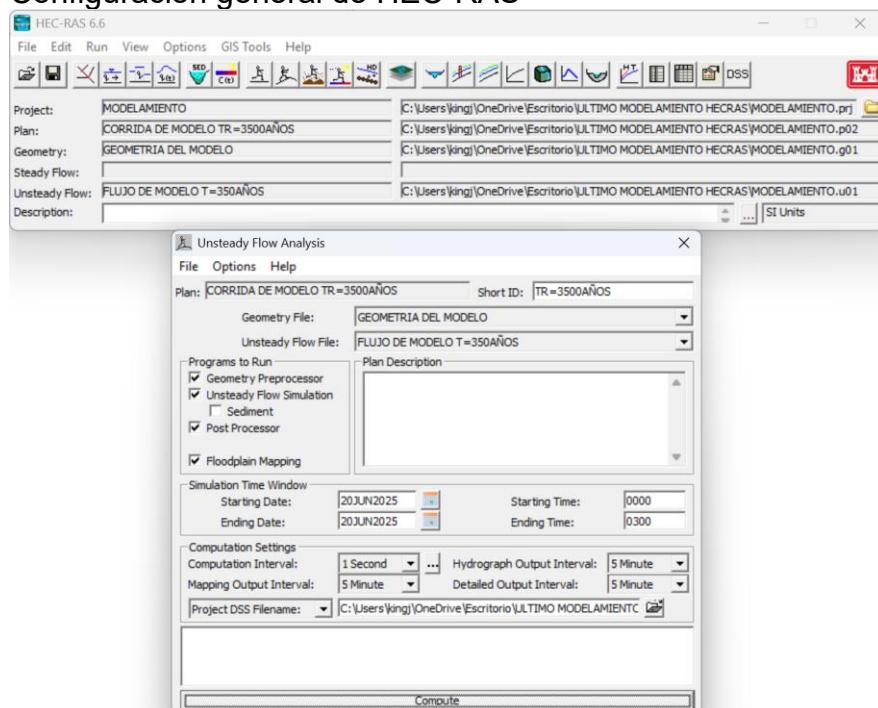
También se ha cargado al programa el hidrograma obtenido en el modelamiento hidrológico, se puede apreciar gráficamente en la siguiente figura.

Figura 27
Hidrograma de caudales ingresados a HEC-RAS



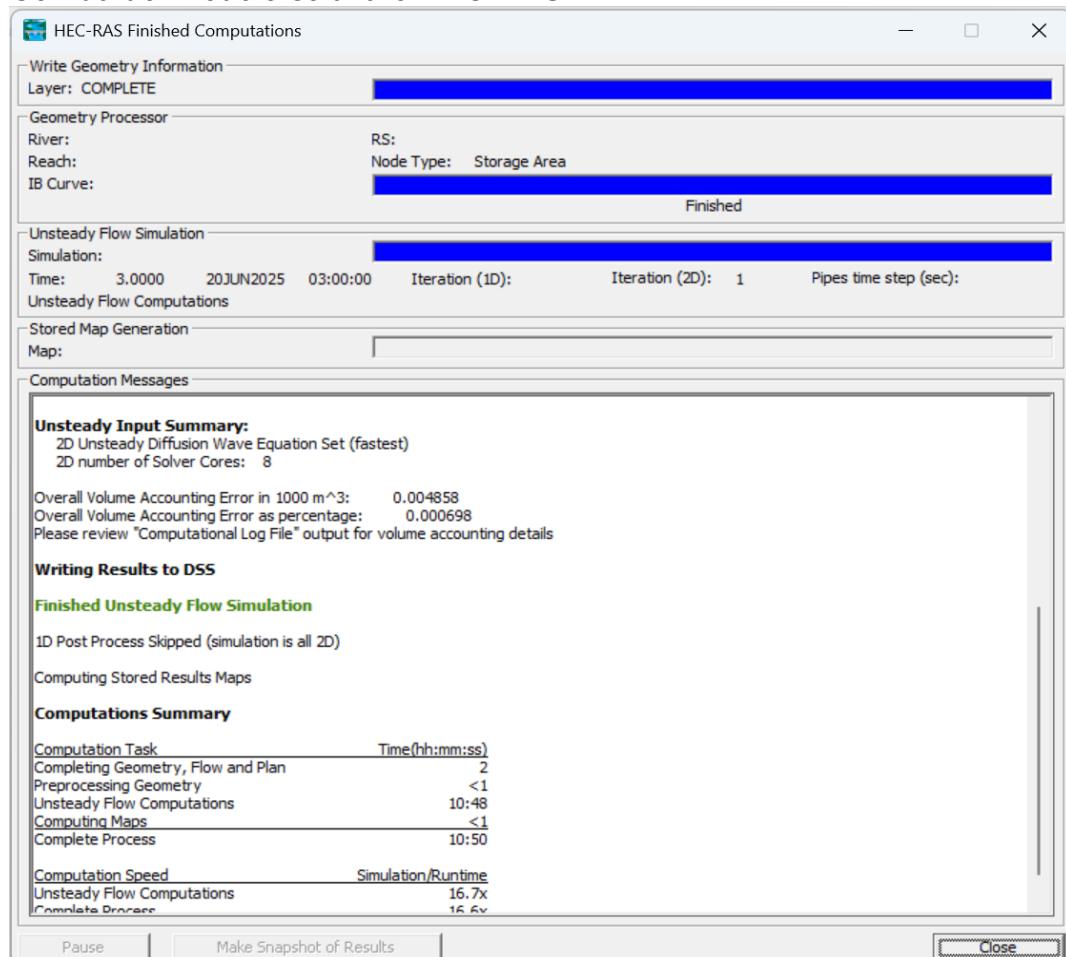
Finalmente, con la geometría y las condiciones iniciales de modelo vamos a simular la inundación considerando un intervalo de tiempo de 3 horas tal como lo muestra la siguiente figura.

Figura 28
Configuración general de HEC-RAS



Luego de realizado la corrida del modelo tenemos el siguiente panel (figura 29), donde podemos visualizar que la simulación a concluido sin errores.

Figura 29
Corrida del modelo software HEC-RAS



Finalmente, en el módulo de RAS Mapper se puede visualizar los resultados del tirante y velocidad del flujo de agua sobre las áreas circundantes a los ríos para cada periodo de retorno analizado (5, 15, 50, 200 y 350 años), La clasificación de las áreas inundables se realizará en función de rangos de altura, conforme a lo establecido en el Manual de Inundaciones Fluviales de INDECI (2011). A cada rango se le asociará un nivel de peligrosidad determinado.

También se ha realizado el modelamiento hidráulico para los caudales de 169.80 m³/s para el caso del río Grande y 89.20 m³/s para el río Chico mismos que son los que provocaron la inundación en el año 2017 generando numerosas pérdidas materiales para lo cual se tiene un área inundable de 7.405 Ha. Los planos detallados del modelamiento hidráulico se muestran en el anexo 5.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DEL NIVEL DE PELIGRO DE INUNDACIÓN

Con el vector intensidad representando por el tirante de agua y el vector de frecuencia de las inundaciones se calculó el peligro de inundación. Así se tiene que para un periodo de 5 años 0.257 ha tiene un tirante de 0.50 a 1.50 m lo cual indica peligro alto, 0.350 ha tiene un tirante de 0.25 a 0.50 m lo cual indica peligro medio y 0.560 ha tiene un tirante menor a 0.25 m lo cual representa peligro bajo.

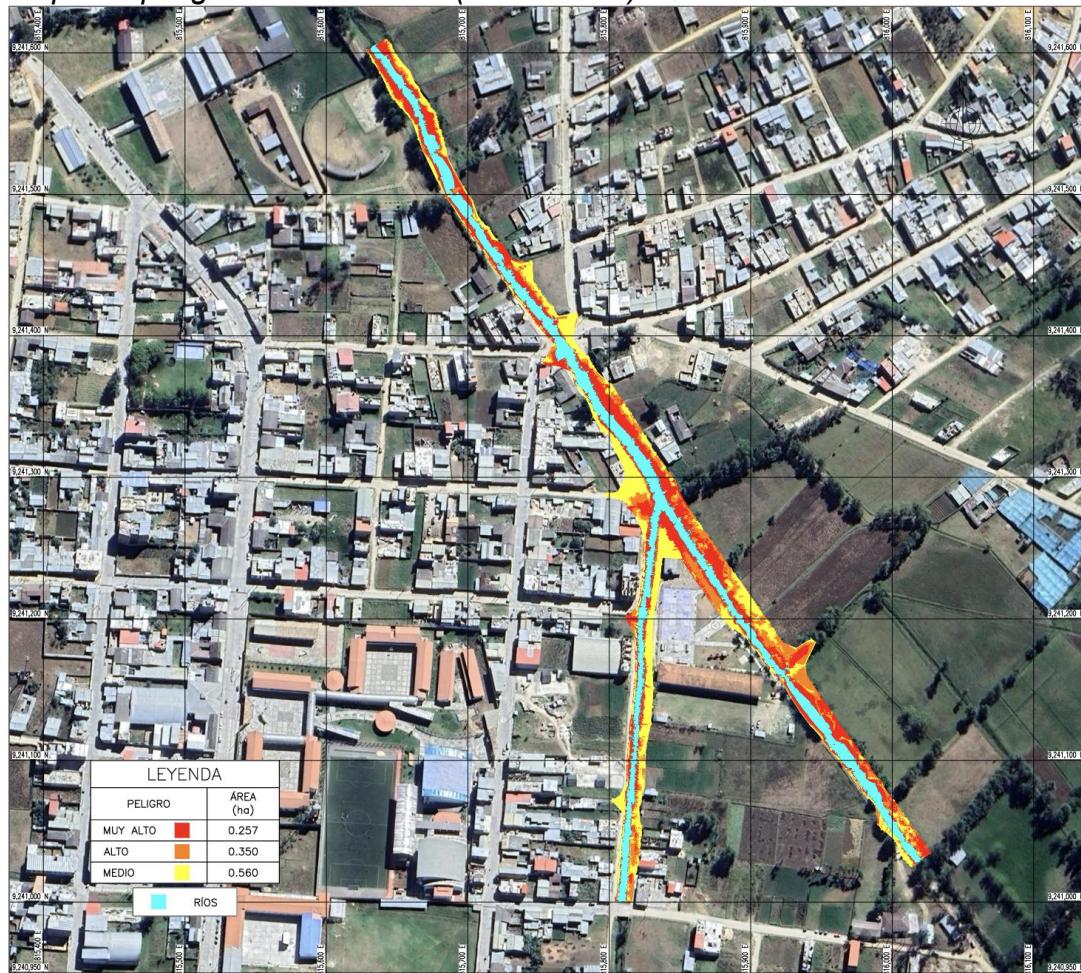
Tabla 27

Nivel de peligro de inundación (Tr = 5 años)

Frecuencia	Intensidad	Indicador	Nivel del peligro	Área (ha)
Muy Alta	Alta	0.75	Muy alto	0.257
	Media	0.50	Alto	0.350
	Baja	0.25	Medio	0.560
Área total inundable				1.166

Figura 30

Mapa de peligro de inundación (Tr = 5 años)



También, para el periodo de retorno de 15 años se tiene que 0.561 ha presenta un tirante de 0.50 a 1.50 m lo cual indica un peligro alto, 0.673 ha tiene un tirante de 0.25 a 0.50 m lo cual indica un peligro medio y 1.010 ha tiene un tirante menor a 0.25 m lo cual representa un peligro bajo.

Tabla 28

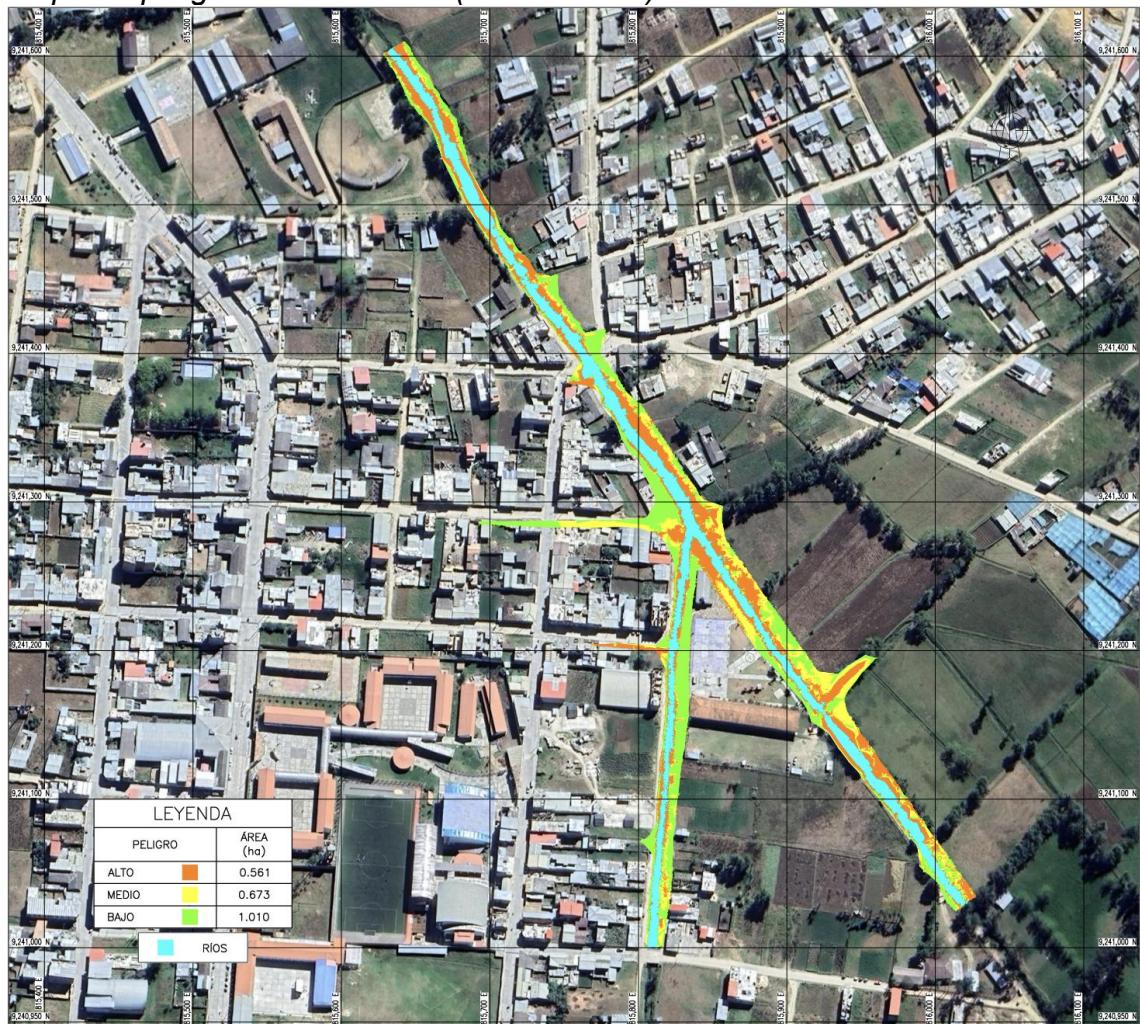
Nivel de peligro de inundación ($Tr = 15$ años)

Frecuencia	Intensidad	Indicador	Nivel del peligro	Área (ha)
Alta	Alta	0.56	Alto	0.561
	Media	0.38	Medio	0.673
	Baja	0.19	Bajo	1.010
Área total inundable				2.244

En base a los resultados anteriores se tiene el mapa de peligro a inundación para un periodo de retorno de 15 años:

Figura 31

Mapa de peligro de inundación ($Tr = 15$ años)



Del mismo modo, para el periodo de retorno de 50 años se tiene que 0.991 ha presenta un tirante de 0.50 a 1.50 m lo cual indica un peligro alto, 1.101 ha tiene un tirante de 0.25 a 0.50 m lo cual indica un peligro medio y 1.578 ha tiene un tirante menor a 0.25 m lo cual representa un peligro bajo.

Tabla 29

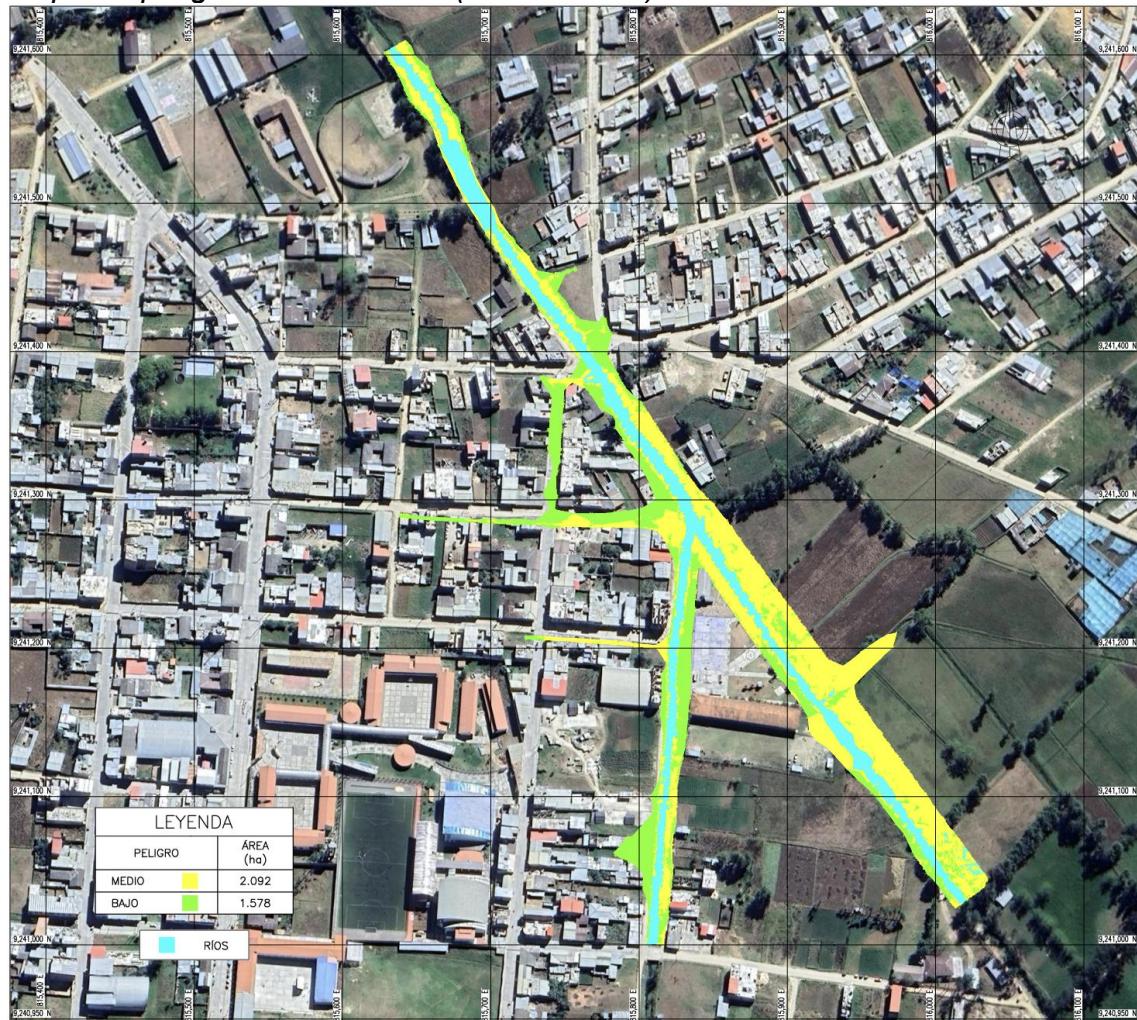
Nivel de peligro de inundación ($Tr = 50$ años)

	Frecuencia	Intensidad	Indicador	Nivel del peligro	Área (ha)
Media	Alta	0.38		Medio	0.991
	Media	0.25		Medio	1.101
	Baja	0.13		Bajo	1.578
Área total inundable					3.670

En base a los resultados anteriores se tiene el mapa de peligro a inundación para un periodo de retorno de 50 años:

Figura 32

Mapa de peligro de inundación ($Tr = 50$ años)



Asimismo, para el periodo de retorno de 200 años se tiene que 1.615 ha presenta un tirante de 0.50 a 1.50 m lo cual indica un peligro alto, 1.468 ha tiene un tirante de 0.25 a 0.50 m lo cual indica un peligro medio y 1.810 ha tiene un tirante menor a 0.25 m lo cual representa un peligro bajo.

Tabla 30

Nivel de peligro de inundación ($Tr = 200$ años)

Frecuencia	Intensidad	Indicador	Nivel del peligro	Área (ha)
Baja	Alta	0.19	Bajo	1.615
	Media	0.13	Bajo	1.468
	Baja	0.06	Bajo	1.810
Área total inundable				4.893

En base a los resultados anteriores se tiene el mapa de peligro a inundación para un periodo de retorno de 200 años:

Figura 33

Mapa de peligro de inundación ($Tr = 200$ años)



Finalmente, para el periodo de retorno de 350 años se tiene que 2.565 ha presenta un tirante de 0.50 a 1.50 m lo cual indica un peligro alto, 2.225 ha tiene un tirante de 0.25 a 0.50 m lo cual indica un peligro medio y 2.615 ha tiene un tirante menor a 0.25 m lo cual representa un peligro bajo.

Tabla 31

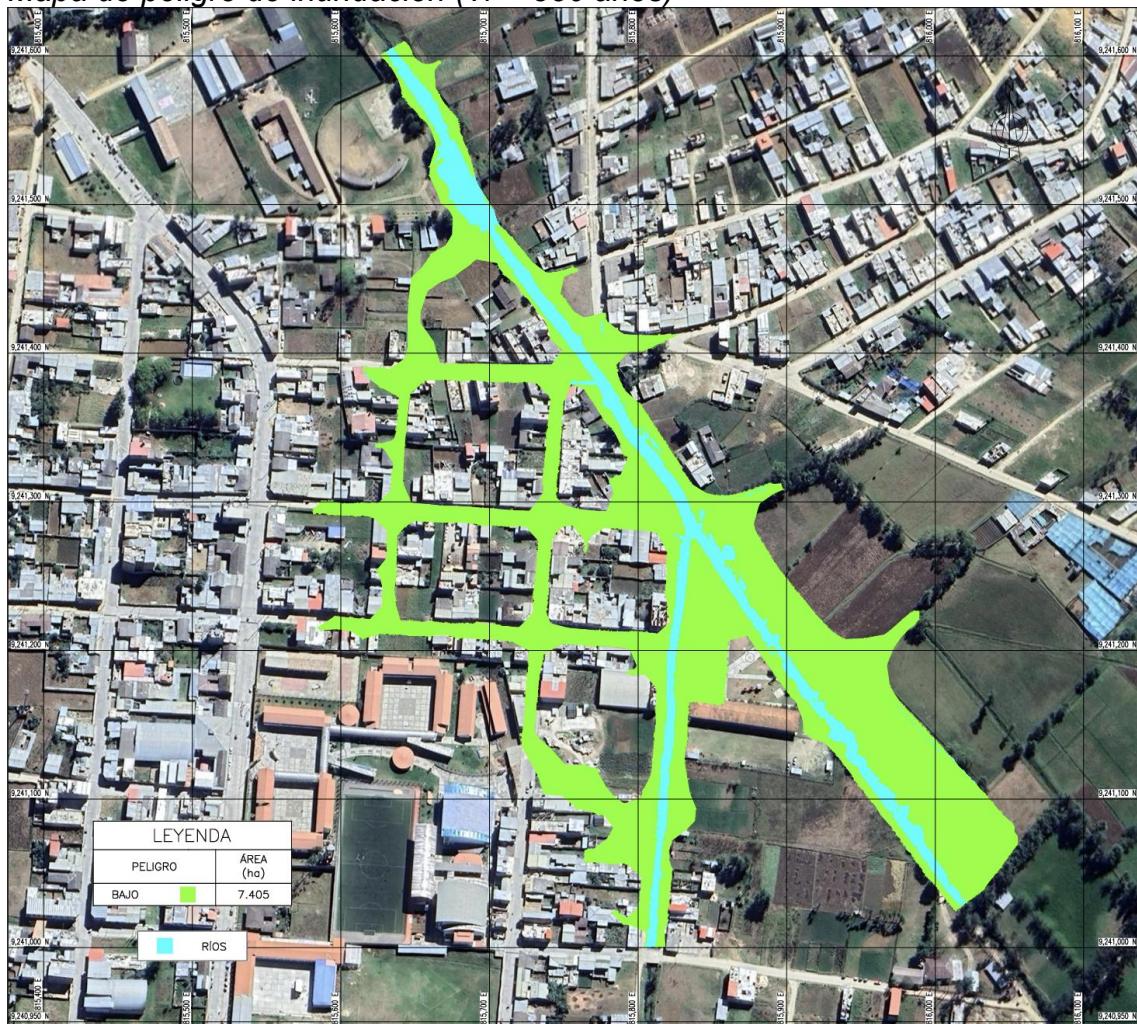
Nivel de peligro de inundación ($Tr = 350$ años)

Frecuencia	Intensidad	Indicador	Nivel del peligro	Área (ha)
Baja	Alta	0.19	Bajo	2.565
	Media	0.13	Bajo	2.225
	Baja	0.06	Bajo	2.615
Área total inundable				7.405

En base a los resultados anteriores se tiene el mapa de peligro a inundación para un periodo de retorno de 350 años:

Figura 34

Mapa de peligro de inundación ($Tr = 350$ años)



En la tabla 32 se presenta un resumen de los valores de peligrosidad asociados a la intensidad de las inundaciones. Para este análisis se ha considerado el tirante de agua, dado que se trata de inundaciones estáticas, así como la frecuencia de recurrencia en función de los períodos de retorno de 5, 15, 50, 200 y 350 años. Asimismo, se detallan las áreas afectadas y su respectivo nivel de peligro. El área máxima inundable, empleada como referencia para los cálculos, corresponde al escenario de 350 años, alcanzando un total de 7.405 ha, distribuidas de la siguiente manera: 2.565 ha con tirante entre 0,50 y 1,50 m; 2.225 ha con tirante entre 0,25 y 0,50 m y 2.615 ha con tirante inferior a 0,25 m.

Se observa que, a menor periodo de retorno, el nivel de peligrosidad resulta más elevado; mientras que, conforme este periodo se incrementa, la peligrosidad tiende a disminuir.

Tabla 32

Resultados del nivel de peligro de inundación barrio El Porvenir

Periodo de retorno	Nivel de peligro	Área (ha)
5 años	Muy Alto	0.257
	Alto	0.350
	Medio	0.560
15 años	Alto	0.561
	Medio	0.673
	Bajo	1.010
50 años	Medio	2.092
	Bajo	1.578
200 años	Bajo	4.893
350 años	Bajo	7.405

4.2. CÁLCULO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD A INUNDACIÓN

En cuanto a la vulnerabilidad física se consideró como factores resaltantes las variables de localización de las viviendas, material de construcción, características geológicas y tipos de suelos, así como el cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos. A continuación, se realizará la estimación del cálculo de la vulnerabilidad tal como lo indica el manual de inundaciones fluviales de INDECI.

4.2.1. Vulnerabilidad física

Variable: Localización de las Viviendas

El factor más determinante en el cálculo de la vulnerabilidad física es la localización de las viviendas respecto a las fuentes de agua.

Tabla 33

Vector de localización de las viviendas

Indicadores	Indicador (km)	Nivel de vulnerabilidad	N° viviendas	Porcentaje %
Muy cercanas	0.00 – 0.20	Muy Alto	225	100
	Cantidad		225	100

Tabla 34

Cuantificación del vector de localización de las viviendas

Nivel de peligro	Porcentaje %	Cuantificación	Valor Calculado
Muy alto	100	1.00	1.00
Nivel de vulnerabilidad Cn			Muy Alta

Variable: Material de construcción

Tabla 35

Vector de material de construcción

Indicadores	Nivel de vulnerabilidad	N° de viviendas	Porcentaje %
Estructuras de adobe, otros de menor resistencia.	Muy Alta	22	9.78
Estructuras de adobe, otros sin refuerzos estructurales	Alta	57	25.33
Estructura de concreto, sin adecuada técnica constructiva	Media	136	60.44
Estructuras sismorresistentes	Baja	10	4.44
Cantidad		225	100

Tabla 36

Cuantificación del vector de tipos de materiales de construcción

Nivel de peligro	Porcentaje	Cuantificación	Valor Calculado
Muy alto	9.78	0.09	
Alto	25.33	0.19	
Medio	60.44	0.30	0.59
Bajo	4.44	0.01	
Nivel de vulnerabilidad Cn			Alta

Variable: características geológicas, calidad y tipo de suelos

Otro factor de suma relevancia es la presencia de la napa freática superficial.

Tabla 37

Vector de características geológicas

Indicadores	Nivel de vulnerabilidad	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Suelos colapsables (Napa freática alta)	Muy Alta	25.56	100
Cantidad		25.56	100

Tabla 38

Cuantificación del vector de las características geológicas

Nivel de peligro	Porcentaje	Cuantificación	Valor Calculado
Muy alto	1.00	100	1.00
Nivel de vulnerabilidad Cn			Muy Alto

Variable: Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos

Tabla 39

Vector de cumplimiento de normativas

Indicadores	Nivel de vulnerabilidad	Nº de viviendas	Porcentaje %
Desconocimiento e incumplimiento de la normativa	Muy Alta	89	39.56
Con normativa vigente sin cumplimiento	Alta	66	29.33
Con normativa vigente medianamente cumplidas	Media	60	26.67
Con normativa vigente estrictamente cumplidas	Baja	10	4.44
Cantidad		225	100

Tabla 40

Cuantificación del vector de cumplimiento de normativas

Nivel de peligro	Valor	Porcentaje	Cuantificación	Valor Calculado
Muy alto	1.00	39.56	0.39	
Alto	0.75	29.33	0.22	
Medio	0.50	26.67	0.13	0.75
Bajo	0.25	4.44	0.01	
Vulnerabilidad Cn				Alta

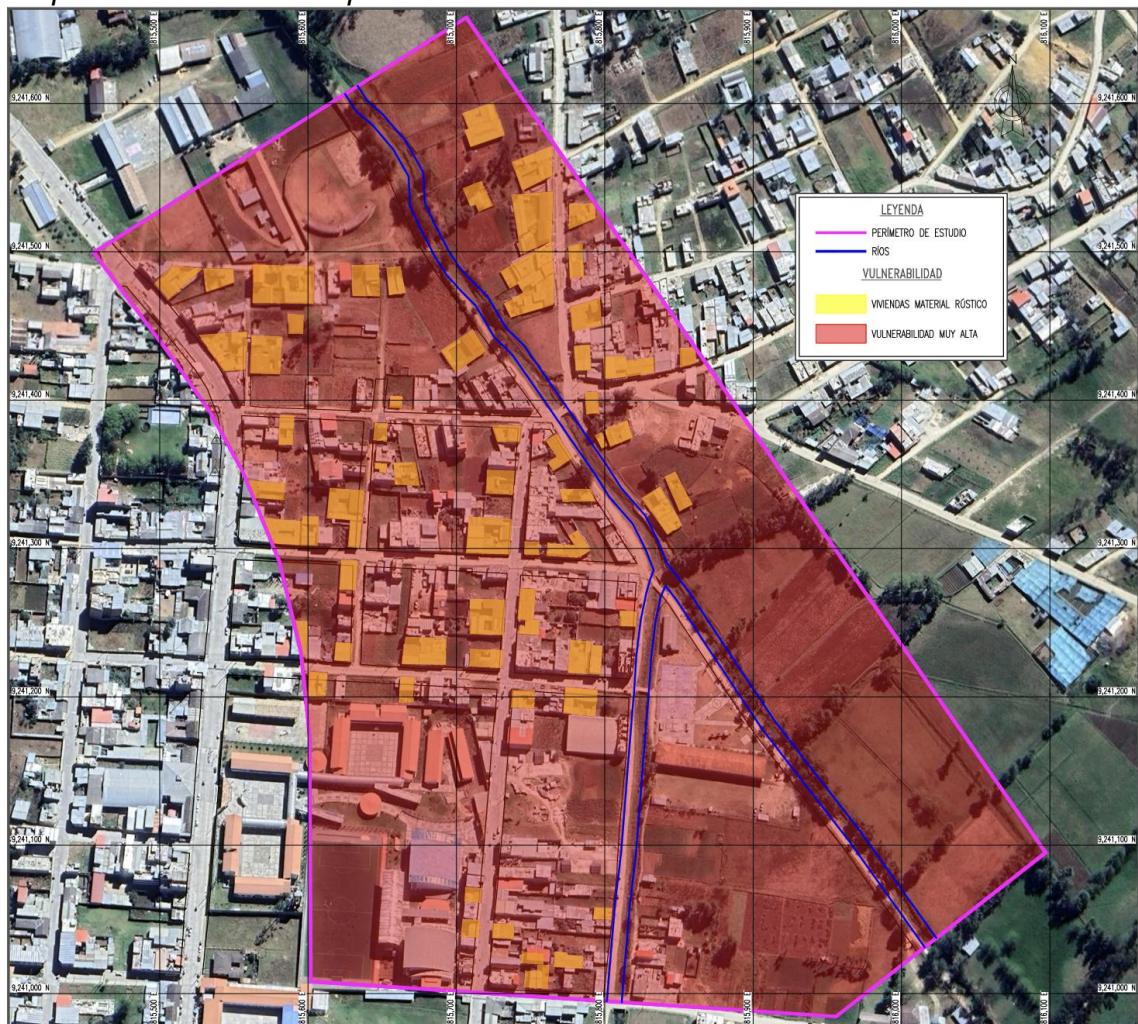
Tabla 41*Resultados del nivel de vulnerabilidad del barrio El Porvenir*

Vulnerabilidad física	Nivel de peligro	Valor Calculado
Localización de las viviendas	Muy alto	1.00
Material de Construcción	Alto	0.59
Características geotécnicas	Muy alto	1.00
Cumplimiento normativas	Alto	0.75

$$V_F = \frac{1.00 + 0.59 + 1.00 + 0.75}{4}$$

$$V_F = 0.84$$

Por lo tanto, podemos concluir que la vulnerabilidad física dentro de nuestro perímetro de estudio es Muy Alto.

Figura 35*Mapa de vulnerabilidad por inundación del barrio el Porvenir*

4.3. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO DE INUNDACIÓN

En base a los resultados del peligro y vulnerabilidad, se procedió al cálculo del riesgo para cada periodo de retorno. Así se tiene que para un periodo de retorno de 5 años se tiene que 0.607 ha presenta un riesgo muy alto y 0.560 ha presenta un riesgo alto, lo que representa un área inundable total de 1.166 ha.

Tabla 42

Nivel de riesgo por inundación (Tr = 5 años)

Peligro	Vulnerabilidad	Valor	Riesgo	Área (ha)
Muy Alto		1.00	Muy Alto	0.257
Alto	Muy Alta	0.75	Muy Alto	0.350
Medio		0.50	Alto	0.560
Área total inundable				1.166

Figura 36

Mapa de riesgo por inundación (Tr = 5 años)



Para un periodo de retorno de 15 años se destaca que 0.561 ha presenta un riesgo muy alto, 0.673 ha un riesgo alto y 1.010 ha presenta un riesgo medio, lo que hace un área total inundable de 2.244 ha.

Tabla 43

Nivel de riesgo por inundación (Tr = 15 años)

Peligro	Vulnerabilidad	Valor	Riesgo	Área (ha)
Alto		0.75	Muy Alto	0.561
Medio	Muy Alta	0.50	Alto	0.673
Bajo		0.25	Medio	1.010
Área total inundable				2.244

Figura 37

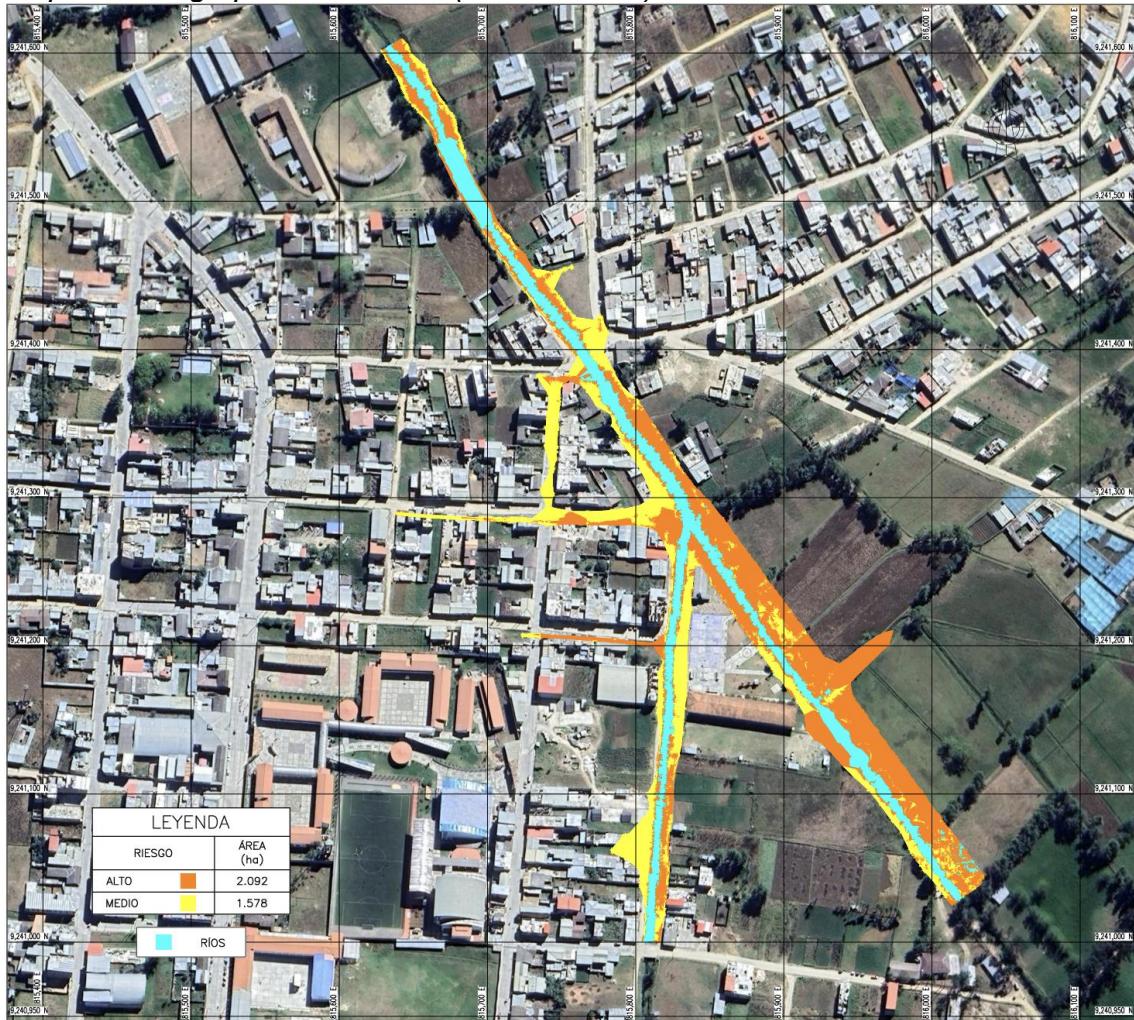
Mapa de riesgo por inundación (Tr = 15 años)



Para un periodo de retorno de 50 años se tiene que 2.092 ha presenta un riesgo alto, 1.578 ha presenta un riesgo medio, lo que hace un área inundable total de 3.670 ha.

Tabla 44*Nivel de riesgo por inundación (Tr = 50 años)*

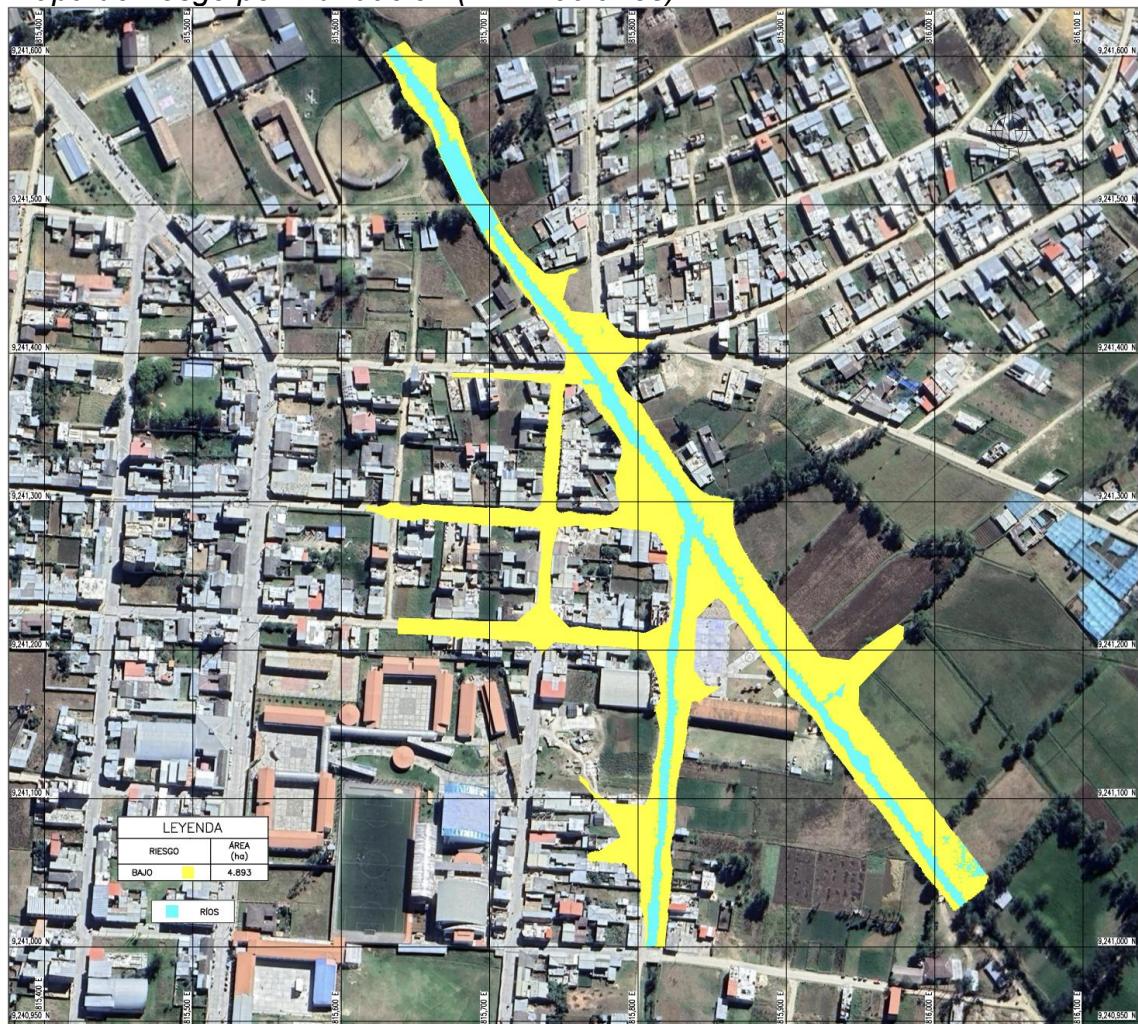
Peligro	Vulnerabilidad	Valor	Riesgo	Área (ha)
Medio		0.50	Alto	0.991
Medio	Muy Alta	0.50	Alto	1.101
Bajo		0.25	Medio	1.578
Área inundable total				3.670

Figura 38*Mapa de riesgo por inundación (Tr = 50 años)*

Para un periodo de retorno de 200 años se destaca que el total del área inundable 4.893 ha presenta un riesgo medio.

Tabla 45*Nivel de riesgo por inundación (Tr = 200 años)*

Peligro	Vulnerabilidad	Valor	Riesgo	Área (ha)
Bajo		0.25	Medio	1.615
Bajo	Muy Alta	0.25	Medio	1.468
Bajo		0.25	Medio	1.810
Área total inundable				4.893

Figura 39*Mapa de riesgo por inundación ($Tr = 200$ años)*

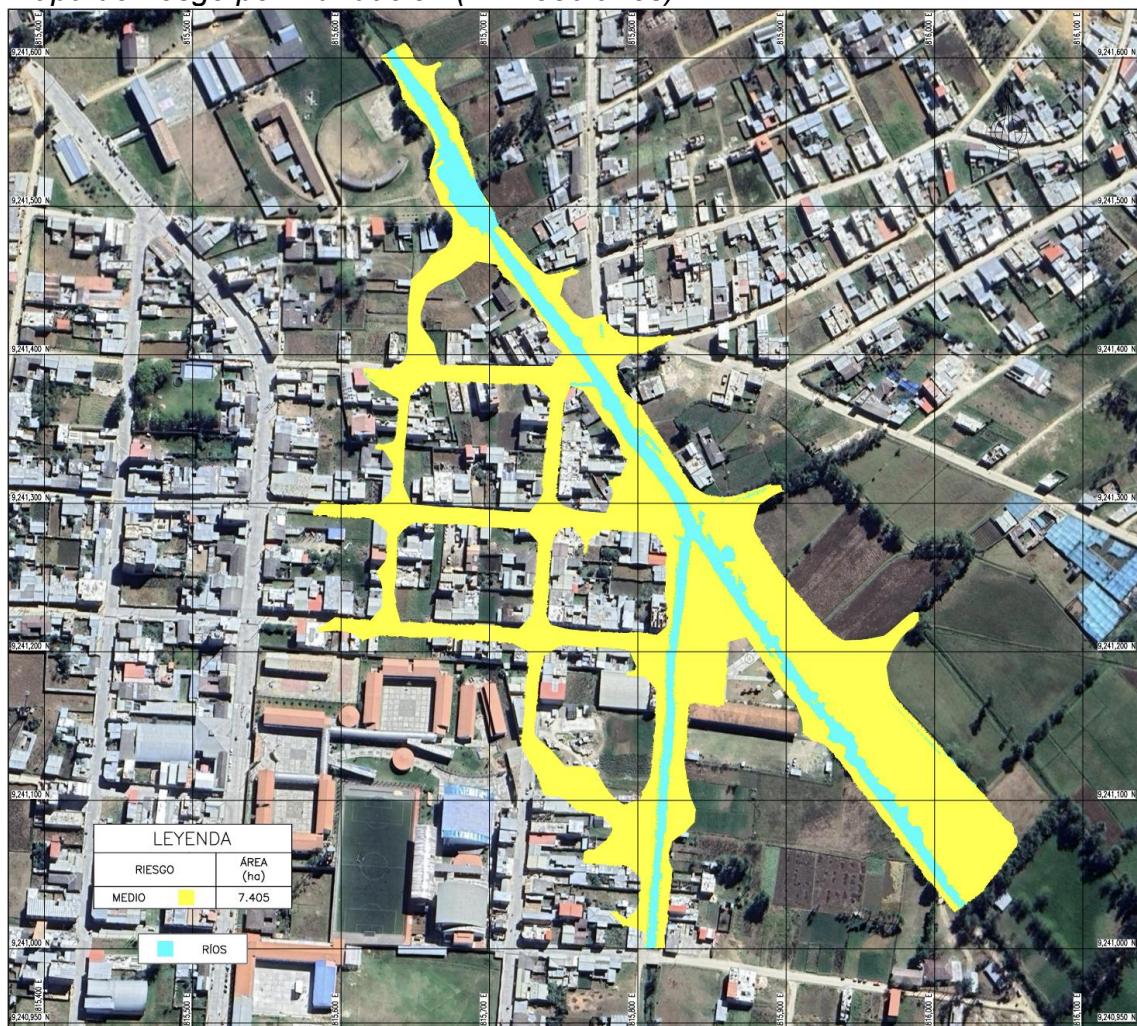
Finalmente se determinó el riesgo de inundación para un periodo de retorno de 350 años que es el periodo de retorno asociado a la inundación del 2017, donde se destaca que el total del área inundable 7.405 ha presenta un riesgo medio, se puede apreciar que a medida que el periodo de retorno es más grande el peligro es menor y en consecuencia el riesgo también disminuye, aun cuando la vulnerabilidad es muy alta.

Tabla 46*Nivel de riesgo por inundación ($Tr = 350$ años)*

Peligro	Vulnerabilidad	Valor	Riesgo	Área (ha)
Bajo		0.25	Medio	2.565
Bajo	Muy Alta	0.25	Medio	2.225
Bajo		0.25	Medio	2.615
Área total inundable				7.405

Figura 40

Mapa de riesgo por inundación ($Tr = 350$ años)



En el siguiente cuadro resumen se muestra los resultados del análisis conjunto de las microcuenca del Río Chico y Río Grande, esta interacción genera la inundación máxima, a su vez resulta ser la condición más desfavorable.

Tabla 47

Resultados del nivel de riesgo por inundación del barrio El Porvenir

Periodo de retorno	Nivel de riesgo	Área (ha)
5 años	Muy Alto	0.606
	Alto	0.560
15 años	Muy Alto	0.561
	Alto	0.673
	Medio	1.010
50 años	Alto	2.092
	Medio	1.578
200 años	Medio	4.893
350 años	Medio	7.405

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a) Se realizó el reconocimiento de las zonas susceptibles a inundación en el barrio El Porvenir de la ciudad de Celendín, y se identificó que las áreas con mayor exposición se ubican principalmente en los márgenes del río Chico y río Grande. El relieve del sector presenta una morfología predominantemente plana, con pendientes medias cercanas al 0.5%. En cuanto al uso actual del suelo, se determinó que el 70.09% corresponde a zona urbana, el 7.34% a terrenos agrícolas y el 22.57% a áreas verdes.
- b) Se obtuvo un ráster con resolución espacial de 12.5 metros del portal Alaska Satellite Facility de la NASA, a partir del cual se delimitó y se encontró los parámetros de forma y relieve correspondientes a las microcuencas del río Chico y río Grande. Asimismo, se realizó el levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea de la zona de estudio y se obtuvo la data de precipitaciones máximas en 24 horas del SENAMHI. Toda esta información se procesó y se integró al análisis del Riesgo.
- c) Se estimó que los caudales máximos que ocasionaron la inundación del año 2017 en el barrio El Porvenir fueron de 89.20 m³/s para el río Chico y 169.80 m³/s para el río Grande. Estos caudales corresponden a un periodo de retorno de aproximadamente 350 años e inundaron un área equivalente a 7.405 Ha.
- d) Para los periodos de retorno de 5, 15, 50 y 200 años, se realizó el modelamiento hidrológico mediante el método del hidrograma unitario en HEC-HMS y se obtuvieron caudales de 58.6 m³/s, 65.4 m³/s, 73.7 m³/s y 84.4 m³/s para el Rio Chico y 110 m³/s, 123.3 m³/s, 139.4 m³/s y 160.5 m³/s para el Rio Grande respectivamente. Asimismo, del modelamiento hidráulico bidimensional para flujos no permanentes realizado con HEC-RAS se evidenció la presencia de tirantes de agua de hasta 1.5 m.

e) Se determinó el riesgo a inundación fluvial en función del peligro y la vulnerabilidad del barrio El Porvenir obteniendo los siguientes resultados: para un periodo de retorno de 5 años, 2.61% (0.606 ha) tiene un riesgo muy alto y 2.42% (0.560 ha) riesgo alto. Para 15 años 2.42% (0.561 ha) presenta un riesgo muy alto, 2.90% (0.673 ha) riesgo alto y 4.36% (1.010 ha) riesgo medio. Para 50 años 9.03% (2.092 ha) tiene riesgo alto y 6.81% (1.578 ha) riesgo medio, para un periodo de retorno de 200 años 21.11% (4.893 ha) presenta riesgo medio y para un periodo de retorno de 350 años 31.95% (7.405 ha) están en riesgo medio de inundación.

5.2. Recomendaciones

- a) Realizar trabajos complementarios en el área de investigación como la instalación de una estación hidrométrica resultaría de gran utilidad, ya que permitiría registrar los caudales máximos anuales durante las temporadas de lluvias, lo que contribuiría a tener más información al momento de calibrar los modelos y validar los resultados obtenidos en este estudio y a fortalecer futuras investigaciones en la zona.
- b) En los tramos críticos identificados, comprendidos entre las progresivas 0+040 a la 0+289.80 en el río Chico; así como entre las progresivas 0+120 a la 0+309.40 y de la 0+322.40 a la 0+560 en el río Grande, se recomienda ejecutar obras específicas de protección, tales como muros de contención y sistemas de drenaje pluvial. Estas intervenciones deben orientarse a mitigar el riesgo de desbordamiento y a proteger las edificaciones localizadas en el entorno de ambos ríos, ver plano P-05.
- c) Fortalecer la gestión integral del riesgo de inundaciones mediante la articulación entre autoridades locales, regionales y nacionales, así como la participación de la comunidad en programas de prevención, preparación y respuesta frente a emergencias. A largo plazo, es fundamental incorporar criterios de urbanismo resiliente al clima en los planes de desarrollo territorial, de modo que las futuras decisiones de ocupación y uso del suelo consideren los escenarios de riesgo identificados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1996). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F., México: Limusa.
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammetrie Generale*. Paris, Francia: Eyrolles.
- Caranton, D. (1981). *Iniciación al uso de mapas y fotografías aéreas*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Carabias, J. & Landa, R. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chadwick, A. & Morfett, J. (1998). *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering*. New York: Estados Unidos: CRC Press.
- Chow, V. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Chow, V., Maidment, D. & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. New York: Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Cunge, J., Holly, F. & Verwey, A. (1980). *Practical aspects of computational river hydraulics*. London, Reino Unido: The Editorial Board.
- Fernández-Coppel, I. (2001). *Las coordenadas Geográficas y la proyección UTM*. Valencia, España: Universidad de Valladolid.
- Guevara, E. & Cartaya, H. (1991). *Hidrología: Una introducción a la hidrología aplicada*. Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo.
- Hutchinson, M. & Gallant, J. (2000). *Digital elevation models and representation of terrain shape*. New York: Estados Unidos: John Wiley and Sons.
- Ibáñez, J. & Moreno, L. (2011). *Hidrología y dinámica de cuencas*. Madrid, España: Ediciones Mundi.
- Keim, M. (2011). *Disaster medicine: Comprehensive principles and practice*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Lavell, A., Maskrey, A., Arenas, A., Gutiérrez, M., & Ramírez, F. (2023). *La gestión del riesgo de desastres*. Lima, Perú: Pull Creativo S.R.L.

- Linsley, R., Kohler, M. & Paulhus, J. (1982). *Hydrology for Engineers*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Mendoza, D. (2020), *Topografía y Geodesia*. Lima, Perú: Maraucano E.I.R.L.
- Ibáñez, A. & Moreno, R. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Sanchez, S. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Villón, B. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Ward, R. & Robinson, M. (2000). *Principles of Hydrology*. Londres, Reino Unido: McGraw-Hill.

World Vision (2004). *Hidrología de cuencas y manejo integral de recursos hídricos*. San Salvador, El Salvador: FORGAES

LINKOGRAFÍA

- Benitez, D. (2014). *Evaluación del nivel hidráulico de la defensa ribereña de la quebrada Magllanal ante una máxima avenida en el sector oeste de la ciudad de Jaén – Cajamarca*. Cajamarca, Perú. [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/99>
- Bernardo, V. & Velasquez, J. (2021). *Análisis integral de riesgos para la mitigación ante inundaciones en zonas urbanas*. Lima Perú. [Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4972>
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originado por inundaciones fluviales*. Lima, Perú <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>
- CENEPRED. (2019). *Oficio N° 092-2019-CENEPRED/DGP-1.0*. Lima, Perú. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/092.pdf>
- Delgado, F. (2023). *Riesgo por inundación del río la envinada en el sector pueblo nuevo, distrito Chontali, provincia Jaén, departamento Cajamarca*.

- Cajamarca, Perú. [Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/6172>
- Goicochea, A. (2021). *Estimación del nivel de riesgo por inundación de la quebrada Cruz Blanca para la zona urbana – Cajamarca, 2020*. Cajamarca, Perú. [Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4453>
- Gualotuña, I. & Guevara, J. (2024). *Análisis de riesgo de inundación con modelo bidimensional de la quebrada. “Caupicho” Quito, Ecuador*. [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27069>
- INDECI. (2006). Manual basico para la estimacion del riesgo. *Instituto Nacional de Defensa Civil*. Lima, Perú.
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf
- INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. *Instituto Nacional de Defensa Civil*, Lima, Perú.
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- INDECI. (2017). *Informe de emergencia N° 021 - 13/01/2017/ COEN - INDECI / 17:00 horas*. Lima, Perú. Instituto Nacional de Defensa Civil.
<https://acortar.link/pcXN1v>
- Londoño, J. (2021). *Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía*. Caldas, Colombia. [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79634>
- López, P. (2015). Análisis de umbrales de precipitación de procesos de remoción en masa, en laderas urbanizadas de la costa de Chile centro-sur. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*.
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50212>
- Mallqui, J. (2021). *Nivel de riesgo por inundación en la cuenca del río Huallaga sector San Rafael – Huánuco 2019*. Huánuco, Perú. [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6651>
- Mancino, M. (2019). *Metodología de estimación de zonas inundables y su impacto socioeconómico en el Estado de México Caso de estudio*:

- Subcuenca Otzolotepec – Atlacomulco. Estado de México, México.*
[Universidad Autónoma del Estado de México].
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/105468>
- Mogammad, B. (2008). *Analysing urban flood risk in low-cost settlements of George, Western Cape, South Africa: Investigating physical and social dimensions*. Western Cape, South Africa [University of Cape Town].
<http://hdl.handle.net/11427/4823>
- Mostacero, A. (2020). *Nivel de riesgo por inundación del área urbana del distrito de Chlete - provincia de Contumazá - región Cajamarca* [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/25374>
- MTC. (2014). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Organización Meteorológica Mundial (WMO). (2021). *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes, (1970–2019)*. Geneva 2, Switzerland.
file:///C:/Users/kingj/OneDrive/Escritorio/1267_Atlas_of_Mortality_en-final_-_26-07-2021.pdf
- Peña, A. (2021). *Zonificación del riesgo por inundación en el tramo urbano del río Piura en situaciones de FEN*. Piura, Perú. [Universidad de Piura].
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5220#:~:text=Resumen,caudales representativos de la zona>.
- Quiroga, F. (2021). *Estudio de inundabilidad del río Motupe, en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque, 2020*. Lambayeque, Perú.
[Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/4299>
- Sierra, D. (2020). *Evaluación de riesgo de inundación por desborde del estero Bellavista*. Concepción, chile. [Universidad Nacional Andrés Bello].
<http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/18593>

The U.S. Army Corps of Engineers, (2016). *HEC-RAS. River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Hydraulic Engineering Center. Washington, Estados Unidos. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

The U.S. Army Corps of Engineers, (2016). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*: Hydrologic Engineering Center. California, United States: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_4.2.pdf

Ticlla, Y. (2021). *Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente “San Mateo” al puente “Lloque Yupanqui”, Chota*. Cajamarca, Perú. [Universidad Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6172>

Tyler, S., & Moench, M. (2012). *A framework for urban climate resilience*. Climate and Development. Colorado, Estados Unidos. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17565529.2012.745389#d1e470>

U.S. Department of the Interior. (1982). Guidelines for determining flood flow frequency U.S. Geological Survey. Virginia, Estados Unidos. https://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/dl_flow.pdf

ANEXOS

**Anexo 1: Análisis estadístico data meteorológica - estación
Celendín**

Tabla 48*Datos de la estación Celendín*

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO	CORR
1997	14.3	22.3	54.7	27.6	14.5	11.2	0	0	13.2	23.8	19.8	51.4	54.7	61.81
1998	23.1	43.6	67.4	43.2	31.5	0	0.7	0	5.6	25.1	20	14.1	67.4	76.16
1999	38	31.7	15.6	8.7	17	24.1	3	4.5	23.8	23	21.5	26.6	38.0	42.94
2000	29.6	28.4	30	30.2	9.4	19.2	1.4	6.8	20.2	3.2	18.2	27.5	30.2	34.13
2001	39	24.6	45.6	24.6	9.4	1	5.4	0	9.3	20.7	54.3	27.7	54.3	61.36
2002	23.8	18.5	43.9	56.6	14.8	1.4	14.4	0	2	52.2	21.5	24.3	56.6	63.96
2003	16.1	20.7	36.2	18.6	10.9	10.6	1.7	0.9	26.5	22.7	15.3	25.3	36.2	40.91
2004	21.7	43.2	50.1	32.5	14.8	0.0	9.0	2.5	16.4	14.8	39.2	26.3	50.1	56.61
2005	22.3	22.0	47.4	20.1	16.5	0.0	0.0	0.0	12.6	34.1	7.0	37.0	47.4	53.56
2006	38.5	27.4	55.0	28.2	3.4	5.9	6.0	3.9	13.1	29.3	27.2	19.7	55.0	62.15
2007	40.2	5.9	41.0	27.9	13.3	1.7	5.2	8.7	10.4	46.6	32.8	31.1	46.6	52.66
2008	30.6	29.9	13.2	18.1	15.3	10.9	8.8	13.5	5.0	20.1	31.2	16.2	31.2	35.26
2009	31.6	18.7	31.5	25.3	19.8	2.4	1.8	0.0	29.6	25.8	34.9	19.5	34.9	39.44
2010	40.1	64.0	49.4	14.3	17.5	1.6	14.7	3.7	17.4	26.7	22.0	21.5	64.0	72.32
2011	12.3	18.0	36.3	22.5	10.9	2.3	7.5	3.5	12.9	17.1	15.9	23.2	36.3	41.02
2012	38.1	27.4	37.8	29.8	16.1	2.0	0.0	1.1	0.3	30.7	30.2	26.6	38.1	43.05
2013	28.3	9.9	30.0	15.2	31.6	14.2	10.7	18.0	2.2	27.5	12.6	26.4	31.6	35.71
2014	19.1	28.4	25.7	53.5	27.2	0.8	0.3	3.5	13.1	21.3	30.0	22.2	53.5	60.46
2015	32.6	6.2	29.3	28.2	24.7	4.8	1.3	0.0	0.5	18.6	21.1	15.6	32.6	36.84
2016	28.1	51.9	31.4	20.1	1.4	1.6	1.8	1.1	19.8	47.9	10.8	38.0	51.9	58.65
2017	62.2	17.3	43.0	43.3	35.8	6.3	0.6	4.8	9.1	29.3	18.3	25.2	62.2	70.29
2018	23.5	20.3	40.1	23.1	21.8	12.9	0.0	0.9	26.7	25.5	40.5	15.0	40.5	45.77
2019	26.3	26.7	29.9	53.1	10.7	1.5	6.5	1.6	2.6	27.0	26.2	21.6	53.1	60.00
2020	27.3	15.8	38.6	27.5	16.1	0.0	7.0	0.6	14.2	18.1	13.7	40.6	40.6	45.88
2021	25.0	11.9	25.6	8.0	5.5	16.3	3.8	12.2	20.0	66.2	44.0	27.1	66.2	74.81
2022	35.3	35.6	45.4	23.1	6.9	13.9	5.0	2.5	19.1	26.4	18.7	23.5	45.4	51.30
2023	31.9	50.1	48.9	20.2	17.9	7.3	0.4	0.4	7.0	32.5	31.0	44.9	50.1	56.61
PROMEDIO	29.6	26.7	38.6	27.5	16.1	6.4	4.3	3.5	13.1	28.0	25.1	26.6	47.0	53.1
DESV. EST.	10.3	14.1	12.2	12.7	8.5	6.8	4.3	4.6	8.4	12.7	11.0	9.0	11.3	12.7
Nº Datos	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0

Tabla 49*Prueba de datos Outlier*

Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)	Outlier
1	1997	7	54.70	1.7380	0
2	1998	1	67.40	1.8287	0
3	1999	20	38.00	1.5798	0
4	2000	27	30.20	1.4800	0
5	2001	8	54.30	1.7348	0
6	2002	5	56.60	1.7528	0
7	2003	22	36.20	1.5587	0
8	2004	12	50.10	1.6998	0
9	2005	14	47.40	1.6758	0
10	2006	6	55.00	1.7404	0
11	2007	15	46.60	1.6684	0
12	2008	26	31.20	1.4942	0
13	2009	23	34.90	1.5428	0
14	2010	3	64.00	1.8062	0
15	2011	21	36.30	1.5599	0
16	2012	19	38.10	1.5809	0
17	2013	25	31.60	1.4997	0
18	2014	9	53.50	1.7284	0
19	2015	24	32.60	1.5132	0
20	2016	11	51.90	1.7152	0
21	2017	4	62.20	1.7938	0
22	2018	18	40.50	1.6075	0
23	2019	10	53.10	1.7251	0
24	2020	17	40.60	1.6085	0
25	2021	2	66.20	1.8209	0
26	2022	16	45.40	1.6571	0
27	2023	13	50.10	1.6998	0

Tabla 50*Análisis estadístico datos estación Celendín*

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	27	27
Suma Σ	1268.70	44.8102
Máximo	67.40	1.8287
Mínimo	30.20	1.4800
Promedio \bar{x}	46.99	1.6596
Desviación estándar s	11.26	0.1065
Coeficiente asimetría Cs	0.1591	-0.1619
Cs/6 k	0.0265	-0.0270

$$X_H = \bar{X} + Kn \cdot s = 1.6596 + 2.519 * 0.1065 = 1.928$$

$$PH = 10^{x_H} = 10^{1.928} = 84.718$$

$$X_L = \bar{X} - Kn \cdot s = 1.6596 - 2.519 * 0.1065 = 1.391$$

$$PL = 10^{x_H} = 10^{1.391} = 24.620$$

Se observa que los valores 'P24' están dentro de los límites PH y PL.

Tabla 51*Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov*

m	x _m	F _o (x _m)	F(x _m) Normal	F _o (x _m) - F(x _m) Normal	F(y _m) Log - Normal	F _o (y _m) - F(y _m) Log - Normal	F(y _m) Pearson III	F _o (y _m) - F(y _m) Pearson III	F(y _m) Log Pearson III	F _o (y _m) - F(y _m) Log Pearson III	K	T	F(x _m) Gumbel	F _o (x _m) - F(x _m) Gumbel
1	67.4	0.9643	0.9651	0.0008	0.9437	0.0206	0.9764	0.0121	0.9687	0.0044	1.8127	18.7166	0.9466	0.0177
2	66.2	0.9286	0.9560	0.0274	0.9349	0.0063	0.9639	0.0353	0.9553	0.0267	1.7061	16.3906	0.9390	0.0104
3	64.0	0.8929	0.9346	0.0417	0.9155	0.0227	0.9572	0.0643	0.9484	0.0556	1.5107	12.8710	0.9223	0.0294
4	62.2	0.8571	0.9116	0.0545	0.8960	0.0389	0.9389	0.0818	0.9301	0.0730	1.3509	10.5805	0.9055	0.0483
5	56.6	0.8214	0.8033	0.0181	0.8091	0.0123	0.9123	0.0909	0.9043	0.0829	0.8536	5.8381	0.8287	0.0073
6	55.0	0.7857	0.7616	0.0241	0.7757	0.0100	0.9098	0.1241	0.9019	0.1162	0.7115	4.9545	0.7982	0.0124
7	54.7	0.7500	0.7533	0.0033	0.7690	0.0190	0.9018	0.1518	0.8943	0.1443	0.6848	4.8061	0.7919	0.0419
8	54.3	0.7143	0.7419	0.0276	0.7598	0.0455	0.8778	0.1636	0.8719	0.1576	0.6493	4.6161	0.7834	0.0691
9	53.5	0.6786	0.7185	0.0399	0.7406	0.0620	0.8712	0.1927	0.8658	0.1872	0.5782	4.2613	0.7653	0.0868
10	53.1	0.6429	0.7063	0.0635	0.7306	0.0877	0.7547	0.1118	0.7582	0.1153	0.5427	4.0958	0.7558	0.1130
11	51.9	0.6071	0.6686	0.0615	0.6989	0.0918	0.7547	0.1475	0.7582	0.1511	0.4362	3.6428	0.7255	0.1183
12	50.1	0.5714	0.6088	0.0374	0.6471	0.0756	0.7547	0.1833	0.7582	0.1868	0.2763	3.0712	0.6744	0.1030
13	50.1	0.5357	0.6088	0.0731	0.6471	0.1113	0.7547	0.2190	0.7582	0.2225	0.2763	3.0712	0.6744	0.1387
14	47.4	0.5000	0.5146	0.0146	0.5602	0.0602	0.7547	0.2547	0.7582	0.2582	0.0365	2.4109	0.5852	0.0852
15	46.6	0.4643	0.4862	0.0219	0.5327	0.0684	0.7547	0.2904	0.7582	0.2939	-0.0345	2.2525	0.5560	0.0918
16	45.4	0.4286	0.4439	0.0153	0.4903	0.0618	0.7547	0.3261	0.7582	0.3296	-0.1411	2.0419	0.5102	0.0817
17	40.6	0.3929	0.2852	0.1076	0.3157	0.0772	0.7205	0.3277	0.7266	0.3338	-0.5674	1.4550	0.3127	0.0801
18	40.5	0.3571	0.2822	0.0749	0.3121	0.0450	0.6512	0.2940	0.6619	0.3047	-0.5763	1.4463	0.3086	0.0486
19	38.1	0.3214	0.2149	0.1065	0.2300	0.0914	0.6207	0.2992	0.6328	0.3114	-0.7894	1.2710	0.2132	0.1082
20	38.0	0.2857	0.2123	0.0734	0.2267	0.0590	0.6081	0.3223	0.6210	0.3353	-0.7983	1.2650	0.2095	0.0762
21	36.3	0.2500	0.1712	0.0788	0.1746	0.0754	0.6017	0.3517	0.6151	0.3651	-0.9493	1.1765	0.1500	0.1000
22	36.2	0.2143	0.1690	0.0453	0.1717	0.0426	0.5435	0.3292	0.5593	0.3451	-0.9582	1.1720	0.1468	0.0675
23	34.9	0.1786	0.1415	0.0371	0.1364	0.0421	0.5238	0.3452	0.5402	0.3616	-1.0736	1.1212	0.1081	0.0705
24	32.6	0.1429	0.1006	0.0422	0.0846	0.0582	0.5039	0.3610	0.5210	0.3782	-1.2779	1.0588	0.0555	0.0874
25	31.6	0.1071	0.0859	0.0213	0.0666	0.0405	0.4974	0.3902	0.5146	0.4074	-1.3667	1.0408	0.0392	0.0680
26	31.2	0.0714	0.0804	0.0090	0.0602	0.0113	0.4907	0.4193	0.5081	0.4366	-1.4022	1.0348	0.0337	0.0378
27	30.2	0.0357	0.0680	0.0323	0.0459	0.0102	0.4841	0.4484	0.5016	0.4659	-1.4910	1.0229	0.0224	0.0134
α	0.05		$\Delta_{\text{critico}} > \Delta_{\text{max}}$	Si se ajusta		Si se ajusta		No se ajusta		No se ajusta			Si se ajusta	
Δ_{critico}	0.25519		Mejor Ajuste	1		2		4		5			3	

Tabla 52*Prueba de bondad de ajuste – Grafica de probabilidades*

N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	ESPERADO								
1	28.00	3.57%	67.4	1.829	1.803	67.3	2.134	71.0	1.803	71.1	1.861	67.9	1.741	70.0
2	14.00	7.14%	66.2	1.821	1.465	63.5	1.579	64.8	1.465	65.4	1.494	63.8	1.433	64.9
3	9.33	10.71%	64.0	1.806	1.242	61.0	1.248	61.0	1.242	61.9	1.255	61.1	1.226	61.7
4	7.00	14.29%	62.2	1.794	1.068	59.0	1.008	58.3	1.068	59.3	1.070	59.0	1.063	59.3
5	5.60	17.86%	56.6	1.753	0.921	57.4	0.818	56.2	0.921	57.2	0.916	57.3	0.924	57.3
6	4.67	21.43%	55.0	1.740	0.792	55.9	0.659	54.4	0.792	55.5	0.781	55.8	0.801	55.6
7	4.00	25.00%	54.7	1.738	0.674	54.6	0.521	52.9	0.674	53.9	0.659	54.4	0.688	54.1
8	3.50	28.57%	54.3	1.735	0.566	53.4	0.399	51.5	0.566	52.5	0.547	53.2	0.583	52.7
9	3.11	32.14%	53.5	1.728	0.464	52.2	0.289	50.2	0.464	51.2	0.442	52.0	0.484	51.4
10	2.80	35.71%	53.1	1.725	0.366	51.1	0.187	49.1	0.366	50.0	0.343	50.8	0.389	50.2
11	2.55	39.29%	51.9	1.715	0.272	50.1	0.092	48.0	0.272	48.8	0.247	49.8	0.296	49.1
12	2.33	42.86%	50.1	1.700	0.180	49.0	0.003	47.0	0.180	47.7	0.154	48.7	0.206	48.0
13	2.15	46.43%	50.1	1.700	0.090	48.0	-0.083	46.1	0.090	46.7	0.063	47.7	0.116	47.0
14	2.00	50.00%	47.4	1.676	0.000	47.0	-0.164	45.1	0.000	45.7	-0.026	46.7	0.027	46.0
15	1.87	53.57%	46.6	1.668	-0.090	46.0	-0.243	44.2	-0.090	44.7	-0.116	45.7	-0.063	45.0
16	1.75	57.14%	45.4	1.657	-0.180	45.0	-0.321	43.4	-0.180	43.7	-0.205	44.7	-0.154	44.0
17	1.65	60.71%	40.6	1.609	-0.272	43.9	-0.397	42.5	-0.272	42.7	-0.296	43.7	-0.247	43.0
18	1.56	64.29%	40.5	1.607	-0.366	42.9	-0.473	41.7	-0.366	41.7	-0.389	42.6	-0.342	42.0
19	1.47	67.86%	38.1	1.581	-0.464	41.8	-0.549	40.8	-0.464	40.8	-0.484	41.5	-0.442	41.0
20	1.40	71.43%	38.0	1.580	-0.566	40.6	-0.626	39.9	-0.566	39.8	-0.583	40.4	-0.547	39.9
21	1.33	75.00%	36.3	1.560	-0.674	39.4	-0.705	39.1	-0.674	38.7	-0.688	39.2	-0.659	38.9
22	1.27	78.57%	36.2	1.559	-0.792	38.1	-0.787	38.1	-0.792	37.6	-0.801	38.0	-0.781	37.7
23	1.22	82.14%	34.9	1.543	-0.921	36.6	-0.874	37.1	-0.921	36.4	-0.924	36.6	-0.916	36.5
24	1.17	85.71%	32.6	1.513	-1.068	35.0	-0.969	36.1	-1.068	35.1	-1.063	35.0	-1.070	35.1
25	1.12	89.29%	31.6	1.500	-1.242	33.0	-1.077	34.9	-1.242	33.7	-1.226	33.2	-1.255	33.6
26	1.08	92.86%	31.2	1.494	-1.465	30.5	-1.207	33.4	-1.465	31.9	-1.434	30.8	-1.495	31.7
27	1.04	96.43%	30.2	1.480	-1.803	26.7	-1.389	31.4	-1.803	29.3	-1.742	27.4	-1.862	28.9

T: Periodo de retorno en años

P: Probabilidad de ocurrencia

Figura 53
Ajuste estadístico – distribución Normal

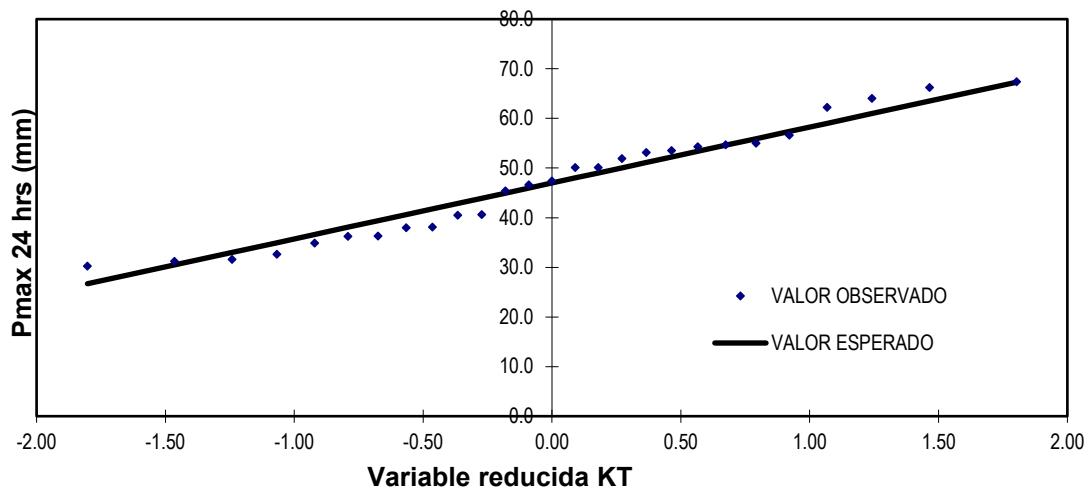


Figura 54
Ajuste estadístico – distribución Gumbel

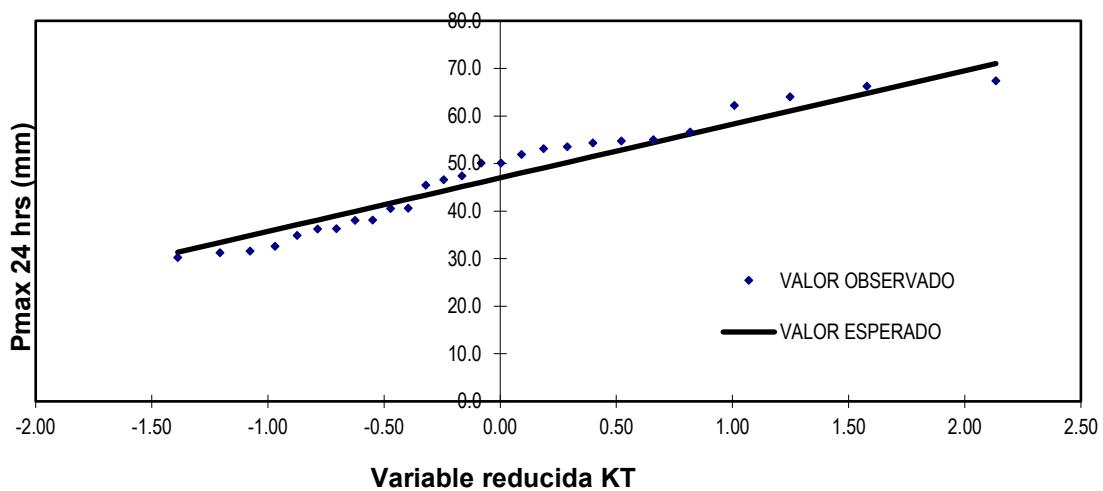


Figura 55
Ajuste estadístico - distribución Log-Normal

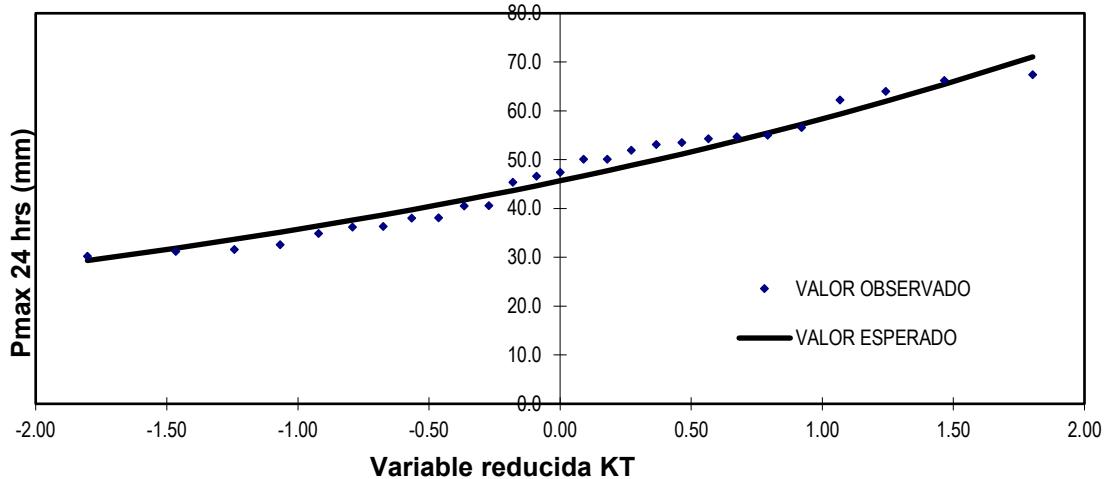


Figura 56
Ajuste estadístico – distribución Pearson III

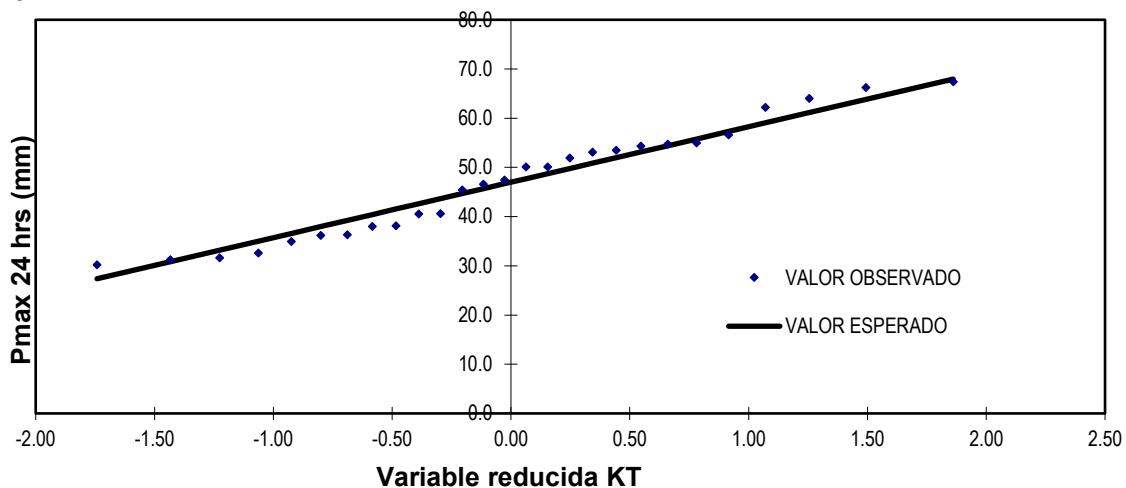


Figura 57
Ajuste estadístico – distribución Log-Pearson III

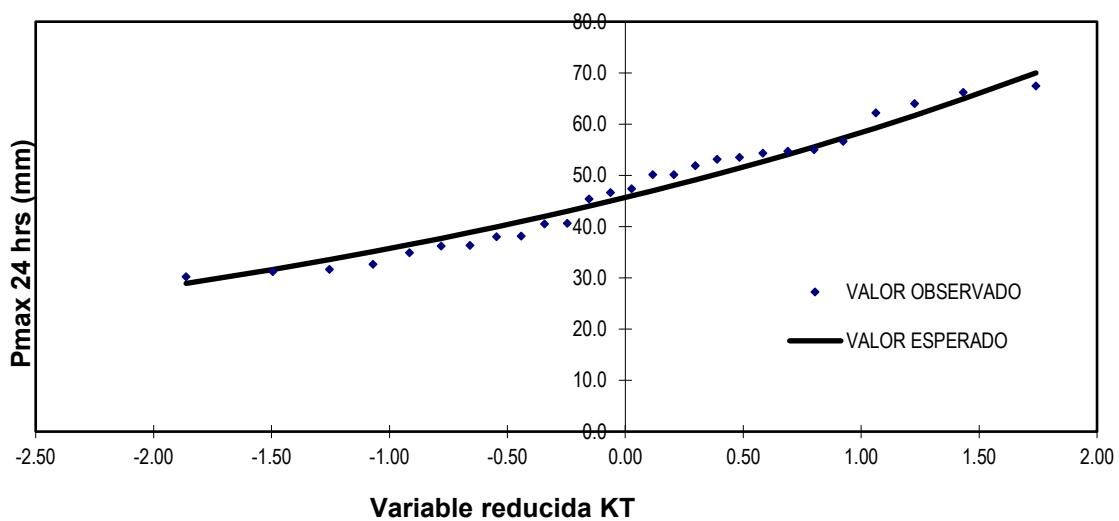


Tabla 58
Valores de precipitaciones máximas en 24 horas

T (años)	P(X≤x _T)	DIST. NORMAL		DIST. GUMBELL		DIST. LOGNORMAL			DIST. PEARSON III			DIST. LOG PEARSON III		
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	
5	0.800	0.842	56.5	0.719	55.1	0.84	1.749	56.1	0.833	56.4	0.848	1.750	56.2	
10	0.900	1.282	61.4	1.305	61.7	1.28	1.796	62.5	1.297	61.6	1.263	1.794	62.3	
15	0.933	1.501	63.9	1.635	65.4	1.50	1.820	66.0	1.533	64.3	1.466	1.816	65.4	
20	0.950	1.645	65.5	1.866	68.0	1.64	1.835	68.4	1.689	66.0	1.598	1.830	67.6	
25	0.960	1.751	66.7	2.044	70.0	1.75	1.846	70.2	1.804	67.3	1.694	1.840	69.2	
50	0.980	2.054	70.1	2.592	76.2	2.05	1.878	75.6	2.138	71.1	1.966	1.869	74.0	
100	0.990	2.326	73.2	3.137	82.3	2.33	1.907	80.8	2.443	74.5	2.207	1.895	78.5	
200	0.995	2.576	76.0	3.679	88.4	2.58	1.934	85.9	2.726	77.7	2.424	1.918	82.8	
300	0.997	2.713	77.5	3.996	92.0	2.71	1.949	88.8	2.882	79.4	2.542	1.930	85.2	
350	0.997	2.764	78.1	4.116	93.3	2.76	1.954	90.0	2.941	80.1	2.586	1.935	86.1	
500	0.998	2.878	79.4	4.395	96.5	2.88	1.966	92.5	3.073	81.6	2.683	1.945	88.2	

Tabla 59*Precipitaciones de diseño método Dick-Peschke*

DURACIÓN		PRECIPITACIÓN (mm)										
Hr	min	5	10	15	20	25	50	100	200	300	350	500
0.08	5.00	15.49	16.85	17.53	17.97	18.30	19.23	20.07	20.85	21.27	21.43	21.78
0.17	10.00	18.42	20.04	20.84	21.37	21.76	22.87	23.87	24.79	25.29	25.48	25.90
0.25	15.00	20.38	22.17	23.06	23.65	24.08	25.31	26.42	27.43	27.99	28.20	28.66
0.33	20.00	21.90	23.83	24.78	25.41	25.88	27.20	28.39	29.48	30.08	30.30	30.80
0.42	25.00	23.16	25.19	26.21	26.87	27.36	28.76	30.02	31.17	31.80	32.04	32.57
0.50	30.00	24.24	26.37	27.43	28.12	28.64	30.10	31.42	32.62	33.29	33.53	34.09
0.58	35.00	25.19	27.40	28.51	29.23	29.76	31.28	32.65	33.91	34.60	34.85	35.42
0.67	40.00	26.05	28.33	29.47	30.22	30.77	32.35	33.76	35.06	35.77	36.03	36.63
0.75	45.00	26.83	29.18	30.36	31.12	31.69	33.31	34.77	36.10	36.84	37.11	37.72
0.83	50.00	27.54	29.96	31.17	31.95	32.54	34.20	35.70	37.07	37.82	38.10	38.73
0.92	55.00	28.21	30.68	31.92	32.73	33.32	35.03	36.56	37.96	38.73	39.02	39.66
1.00	60.00	28.83	31.36	32.62	33.45	34.05	35.80	37.36	38.80	39.59	39.88	40.54
1.08	65.00	29.41	31.99	33.28	34.12	34.74	36.52	38.12	39.58	40.39	40.68	41.35
1.17	70.00	29.96	32.59	33.90	34.76	35.39	37.20	38.83	40.32	41.14	41.44	42.13
1.25	75.00	30.48	33.16	34.49	35.36	36.01	37.85	39.51	41.02	41.86	42.17	42.86
1.33	80.00	30.98	33.69	35.05	35.94	36.59	38.47	40.15	41.69	42.54	42.85	43.56
1.42	85.00	31.45	34.21	35.59	36.49	37.15	39.05	40.76	42.33	43.19	43.51	44.22
1.50	90.00	31.90	34.70	36.10	37.01	37.69	39.61	41.35	42.94	43.81	44.13	44.86
P-MÁX		63.81	69.40	72.20	74.03	75.37	79.23	82.70	85.87	87.62	88.26	89.72

Para obtener la intensidad dividimos cada valor de precipitación de diseño por el tiempo en horas los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 60*Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas*

DURACIÓN		INTENSIDAD (mm/h)										
Hr	min	5	10	15	20	25	50	100	200	300	350	500
0.08	5.00	185.86	202.17	210.31	215.64	219.56	230.79	240.89	250.14	257.11	261.35	
0.17	10.00	110.52	120.21	125.05	128.22	130.55	137.23	143.24	152.88	152.88	155.40	
0.25	15.00	81.54	88.69	92.26	94.60	96.32	101.25	105.68	112.79	112.79	114.65	
0.33	20.00	65.71	71.48	74.35	76.24	77.63	81.60	85.17	90.90	90.90	92.40	
0.42	25.00	55.59	60.46	62.90	64.49	65.66	69.02	72.04	76.89	76.89	78.16	
0.50	30.00	48.48	52.74	54.86	56.25	57.27	60.20	62.84	67.07	67.07	68.17	
0.58	35.00	43.19	46.98	48.87	50.11	51.02	53.63	55.98	59.74	59.74	60.73	
0.67	40.00	39.07	42.50	44.21	45.33	46.16	48.52	50.64	54.05	54.05	54.94	
0.75	45.00	35.77	38.91	40.47	41.50	42.25	44.42	46.36	49.48	49.48	50.30	
0.83	50.00	33.05	35.95	37.40	38.35	39.04	41.04	42.84	45.72	45.72	46.47	
0.92	55.00	30.77	33.47	34.82	35.70	36.35	38.21	39.88	42.57	42.57	43.27	
1.00	60.00	28.83	31.36	32.62	33.45	34.05	35.80	37.36	39.88	39.88	40.54	

Estos valores van a ser ajustados con la ecuación 11, los coeficientes k, m y n fueron encontrados mediante análisis de regresión múltiple.

$$I = \frac{10^{2.7539} x T^{0.0726}}{t^{0.7490}}$$

Tabla 61

Intensidad – duración – frecuencia (I-D-F)

TIEMPO		INTENSIDAD (mm/h)									
Hr	min	5	10	15	20	25	50	100	200	350	500
0.08	5.00	191.0	200.9	206.9	211.3	214.7	225.8	237.4	249.7	260.0	266.8
0.17	10.00	113.7	119.5	123.1	125.7	127.8	134.3	141.3	148.6	154.7	158.8
0.25	15.00	83.9	88.2	90.9	92.8	94.3	99.2	104.3	109.7	114.2	117.2
0.33	20.00	67.6	71.1	73.3	74.8	76.0	79.9	84.1	88.4	92.1	94.5
0.42	25.00	57.2	60.2	62.0	63.3	64.3	67.6	71.1	74.8	77.9	79.9
0.50	30.00	49.9	52.5	54.1	55.2	56.1	59.0	62.0	65.2	68.0	69.7
0.58	35.00	44.5	46.8	48.2	49.2	50.0	52.6	55.3	58.1	60.5	62.1
0.67	40.00	40.2	42.3	43.6	44.5	45.2	47.6	50.0	52.6	54.8	56.2
0.75	45.00	36.8	38.8	39.9	40.7	41.4	43.6	45.8	48.2	50.2	51.5
0.83	50.00	34.1	35.8	36.9	37.7	38.3	40.2	42.3	44.5	46.4	47.6
0.92	55.00	31.7	33.3	34.3	35.1	35.6	37.5	39.4	41.4	43.2	44.3
1.00	60.00	29.7	31.2	32.2	32.9	33.4	35.1	36.9	38.8	40.4	41.5

Para el cálculo del hietograma de diseño se empleó el método del bloque alterno, cuyo procedimiento se muestra a continuación, considerando un período de retorno de 5 años.

Tabla 62

Plantilla para el cálculo del hietograma de diseño

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
5	191.038	15.920	15.920	0-10	0.642
10	113.674	18.946	3.026	5-10	0.741
15	83.902	20.976	2.030	10-15	0.885
20	67.640	22.547	1.571	15-20	1.117
25	57.229	23.846	1.299	20-25	1.571
30	49.925	24.962	1.117	25-30	3.026
35	44.481	25.947	0.985	30-35	15.920
40	40.248	26.832	0.885	35-40	2.030
45	36.849	27.637	0.805	40-45	1.299
50	34.053	28.378	0.741	45-50	0.985
55	31.707	29.065	0.687	50-55	0.805
60	29.707	29.707	0.642	55-60	0.687

Anexo 2: Información cartográfica y topográfica

Figura 46

Ráster extraído de Alaska Satellite Facility de la NASA.

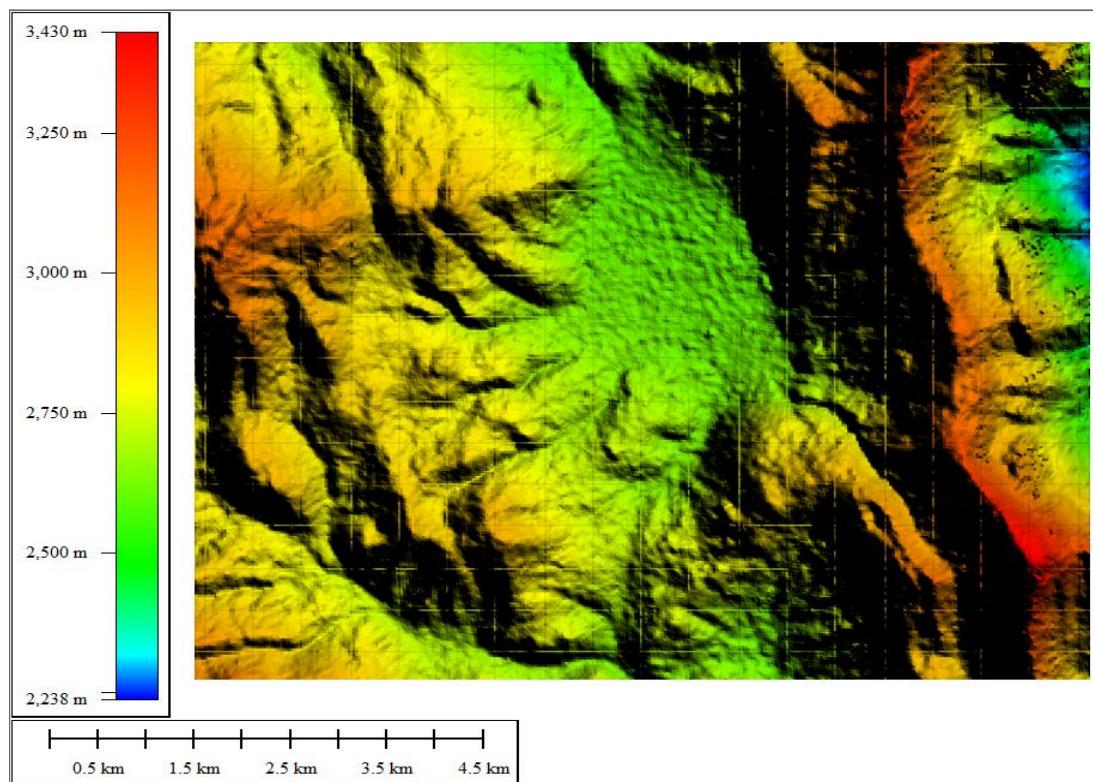
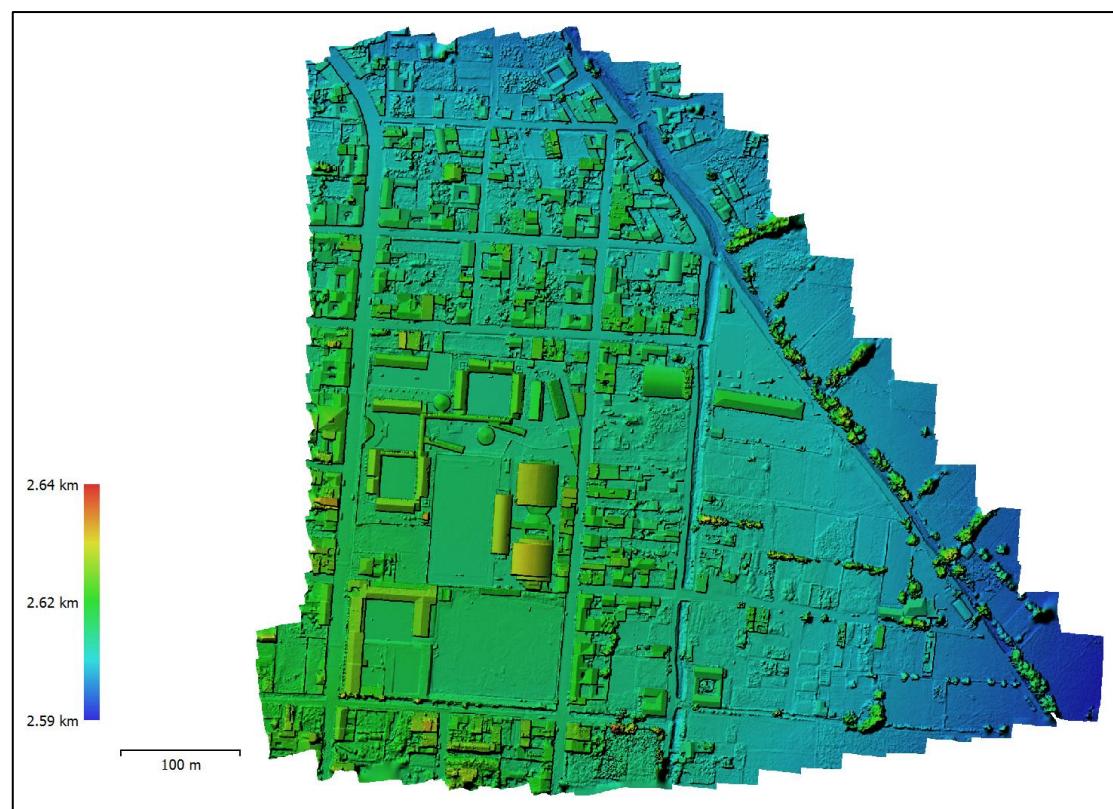


Figura 47

Ráster extraído de la fotogrametría aérea.



Anexo 3: Resultados del modelamiento hidrológico en HEC-HMS

Figura 48

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 5 años del río Chico

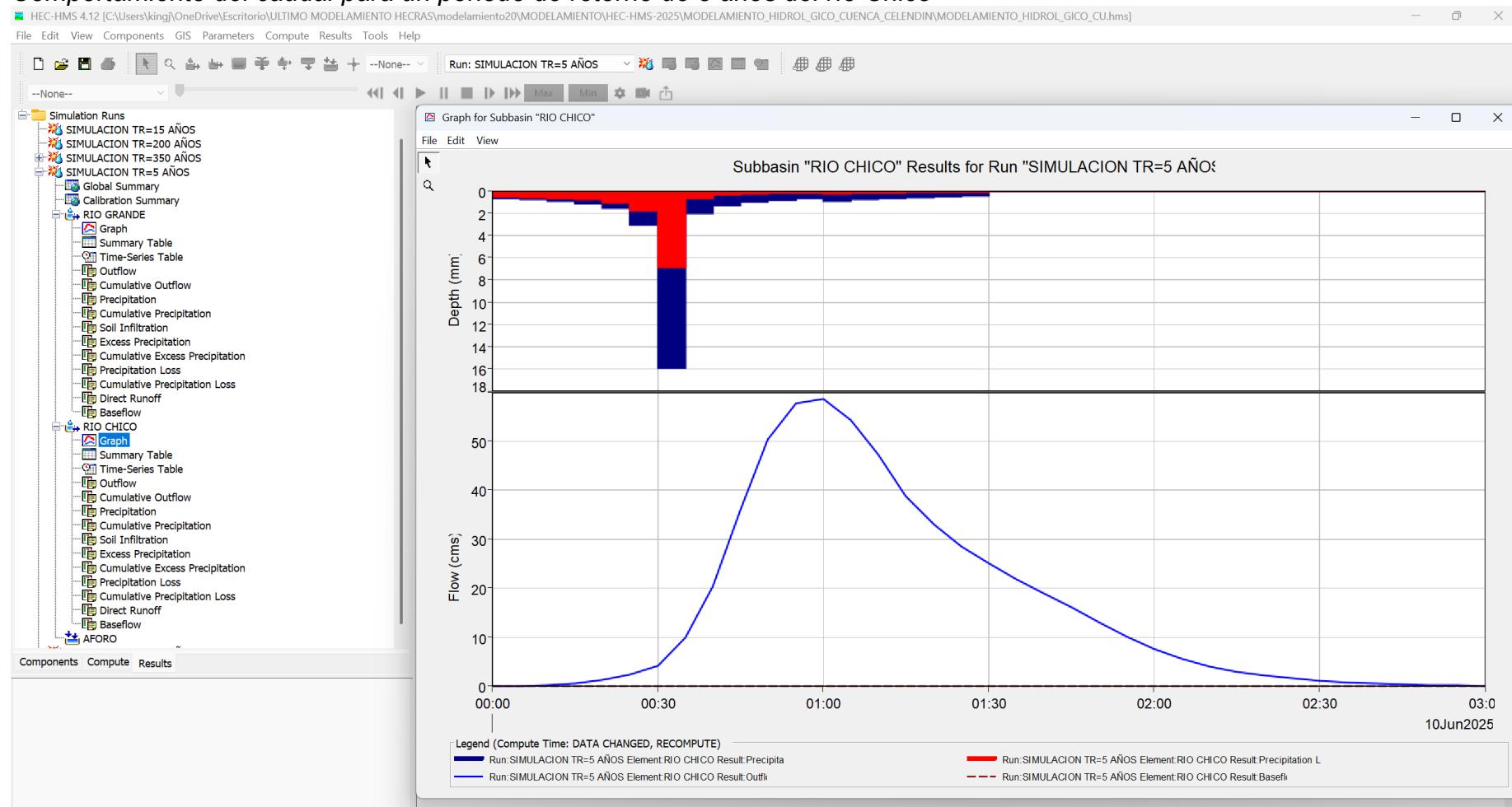


Figura 49

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 5 años del río Grande

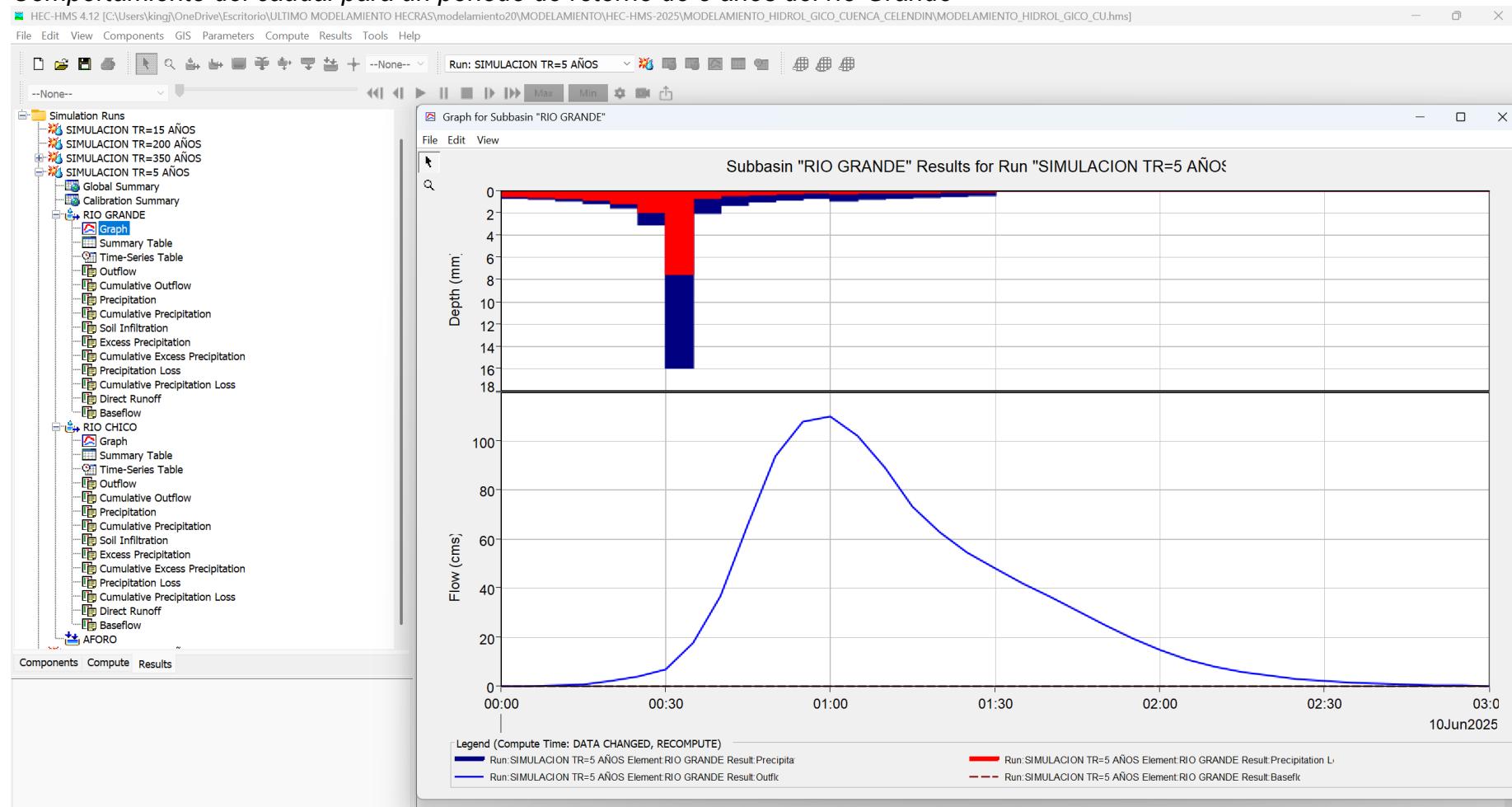


Figura 50

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 15 años del río Chico

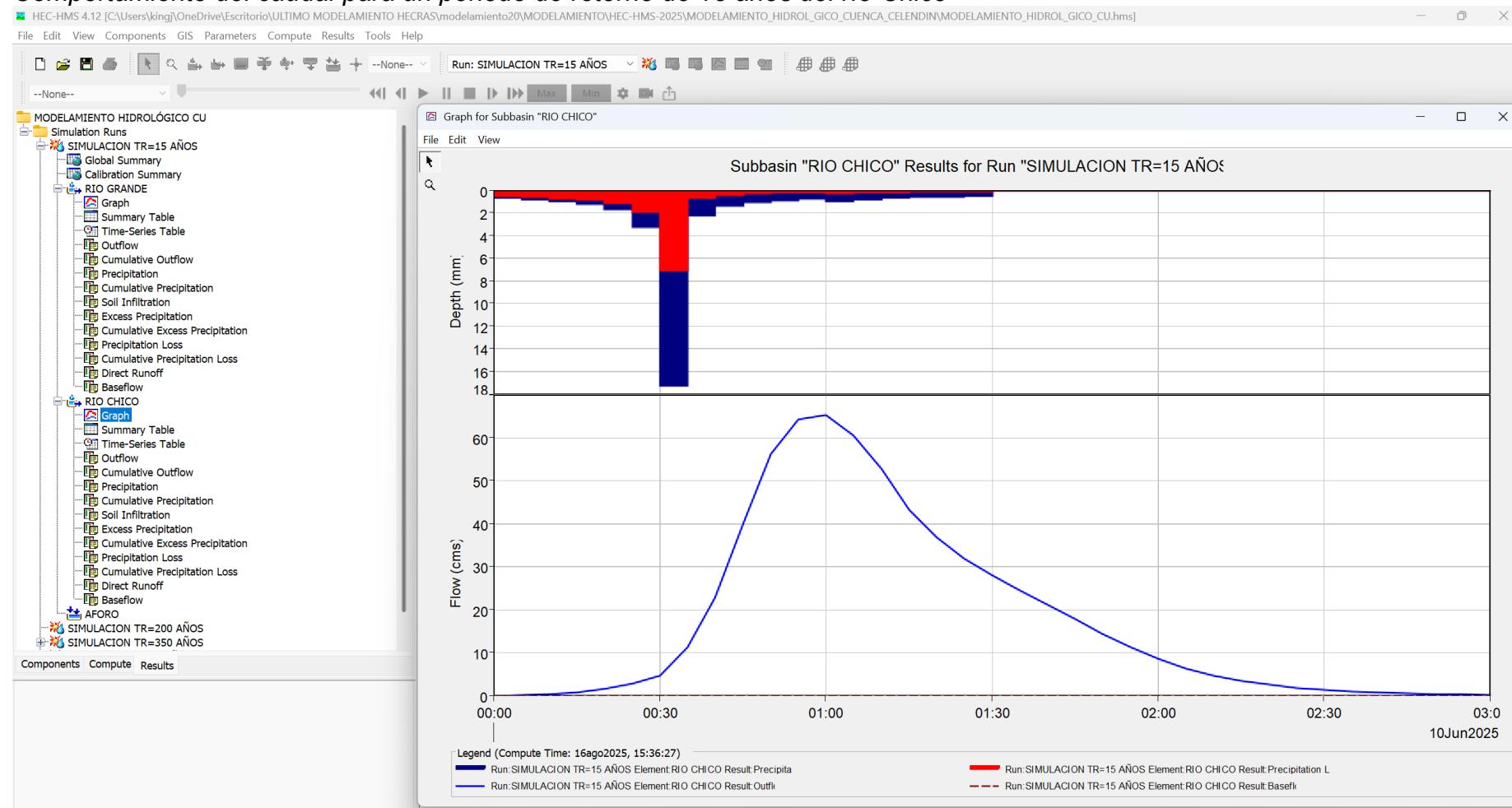


Figura 51

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 15 años del río Grande

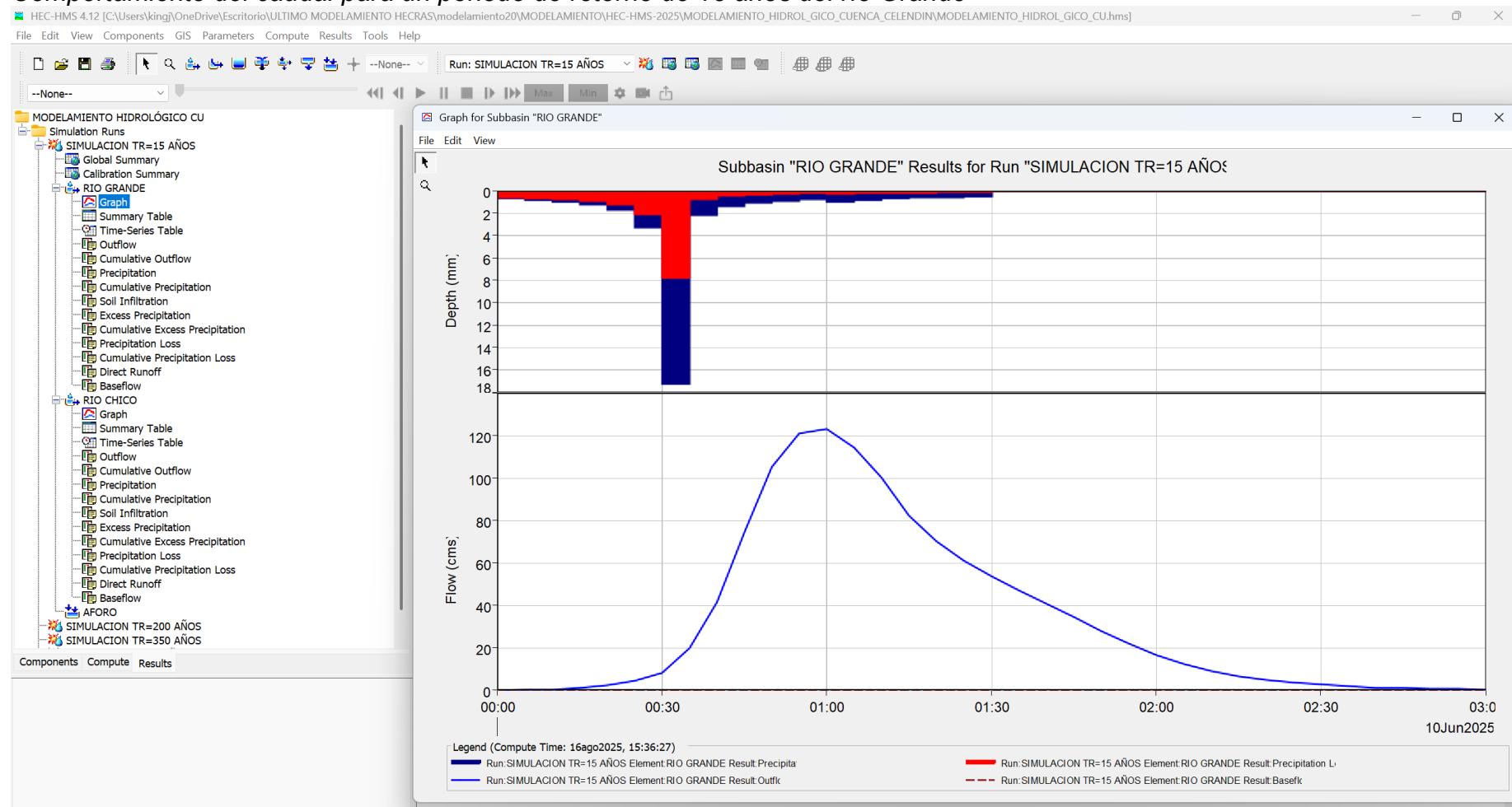


Figura 52

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 50 años del río Chico

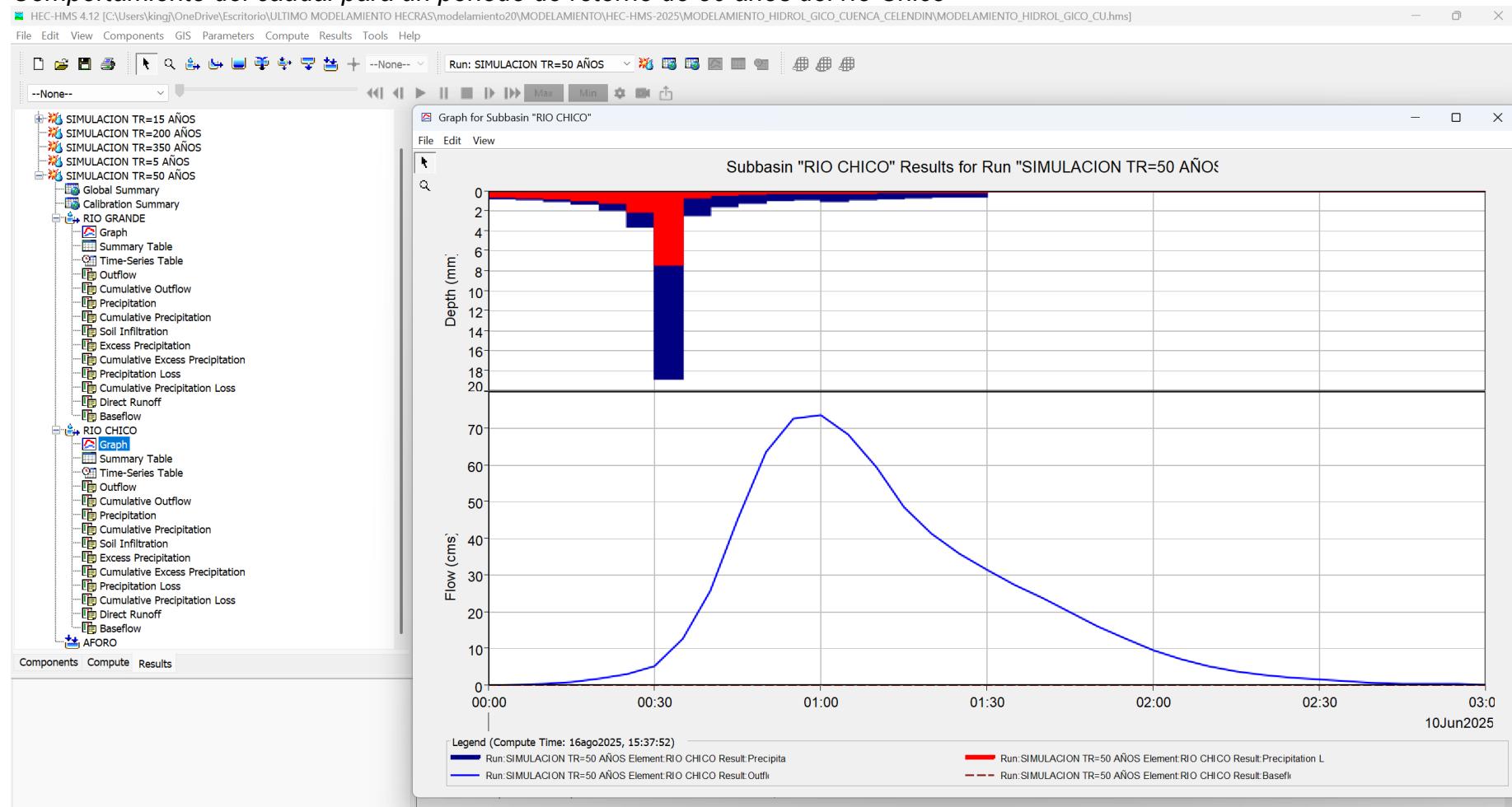


Figura 53

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 50 años del río Grande

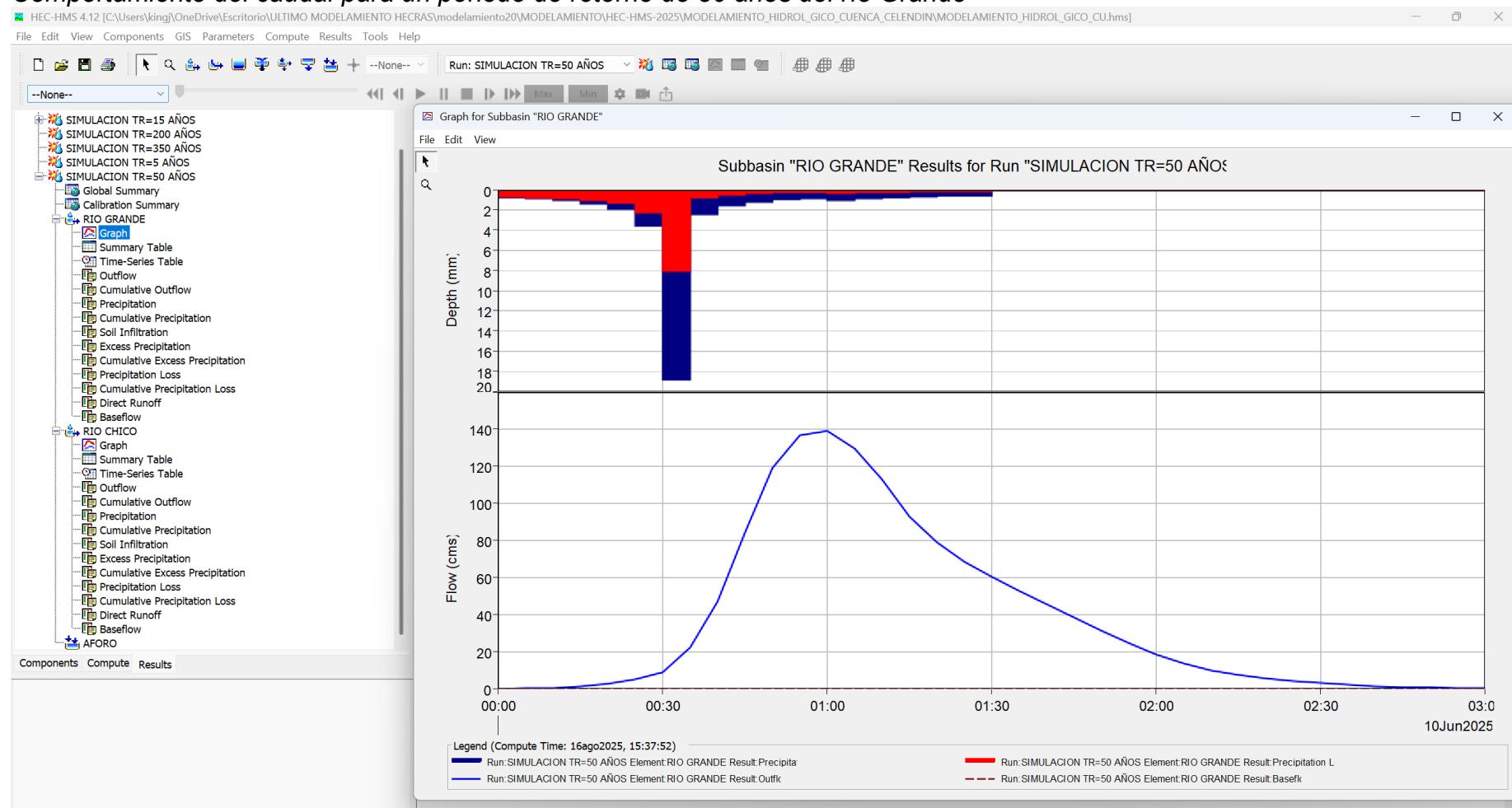


Figura 54

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 200 años del río Chico

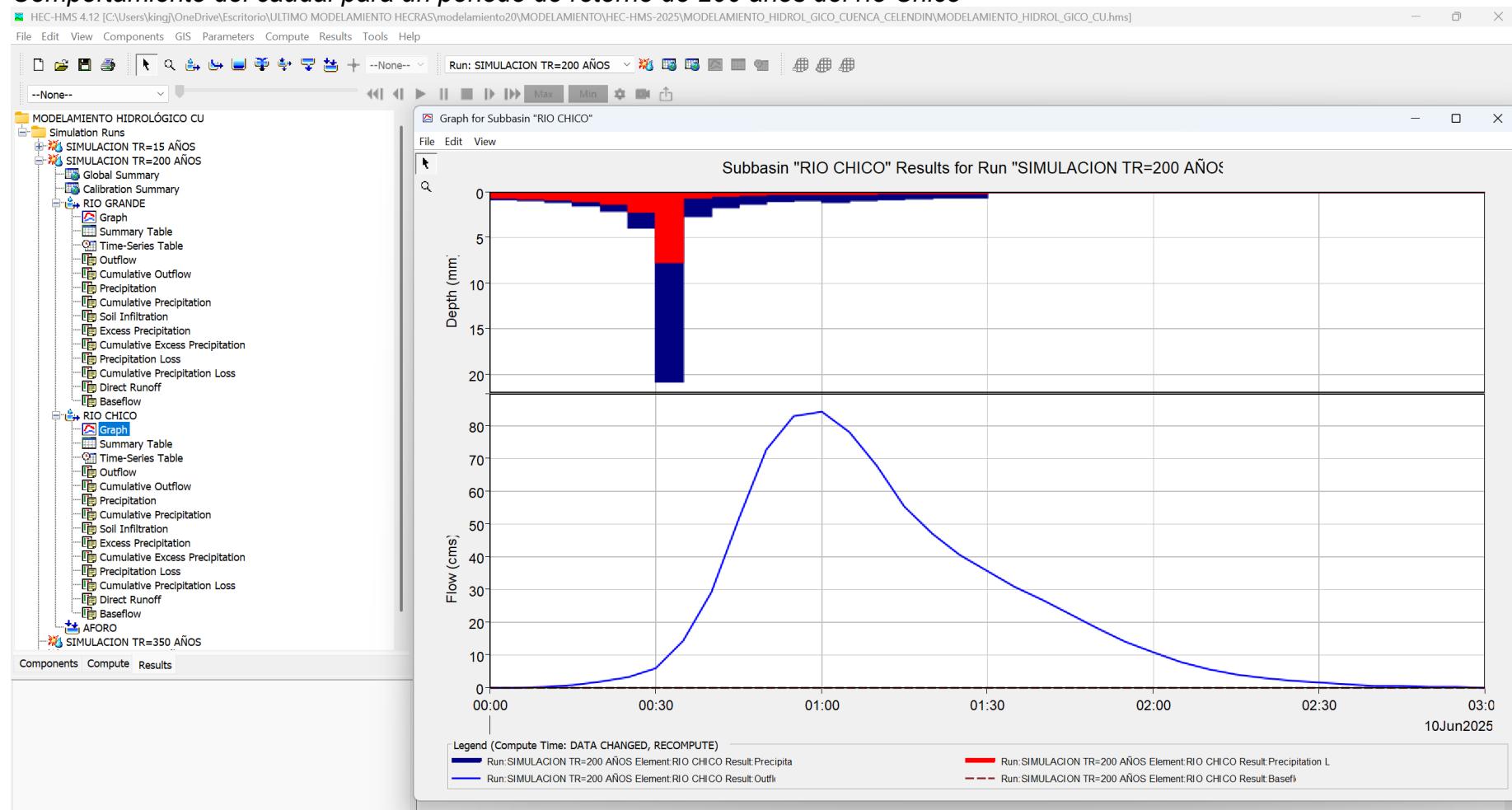


Figura 55

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 200 años del río Grande

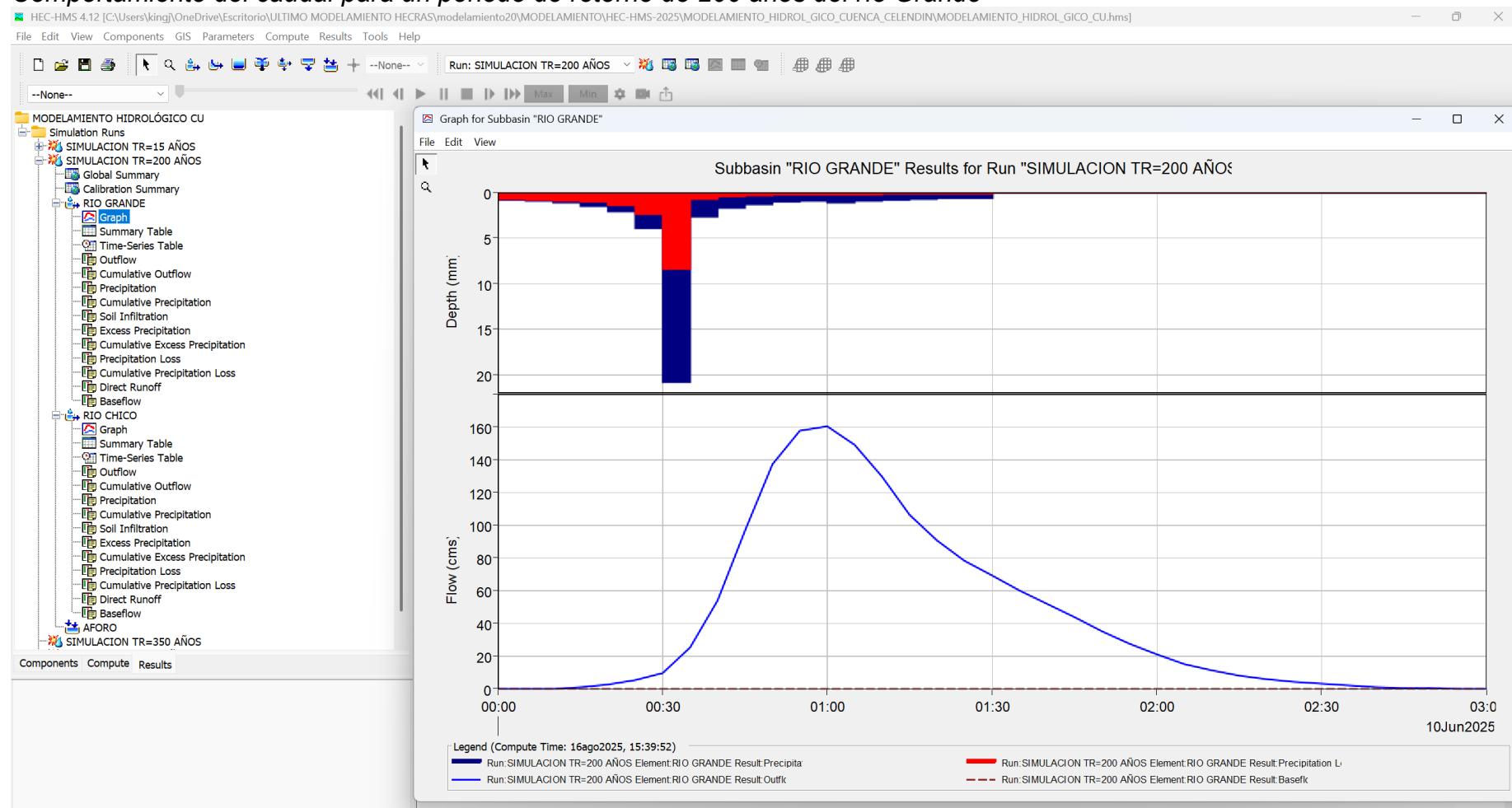


Figura 56

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 350 años del río Chico

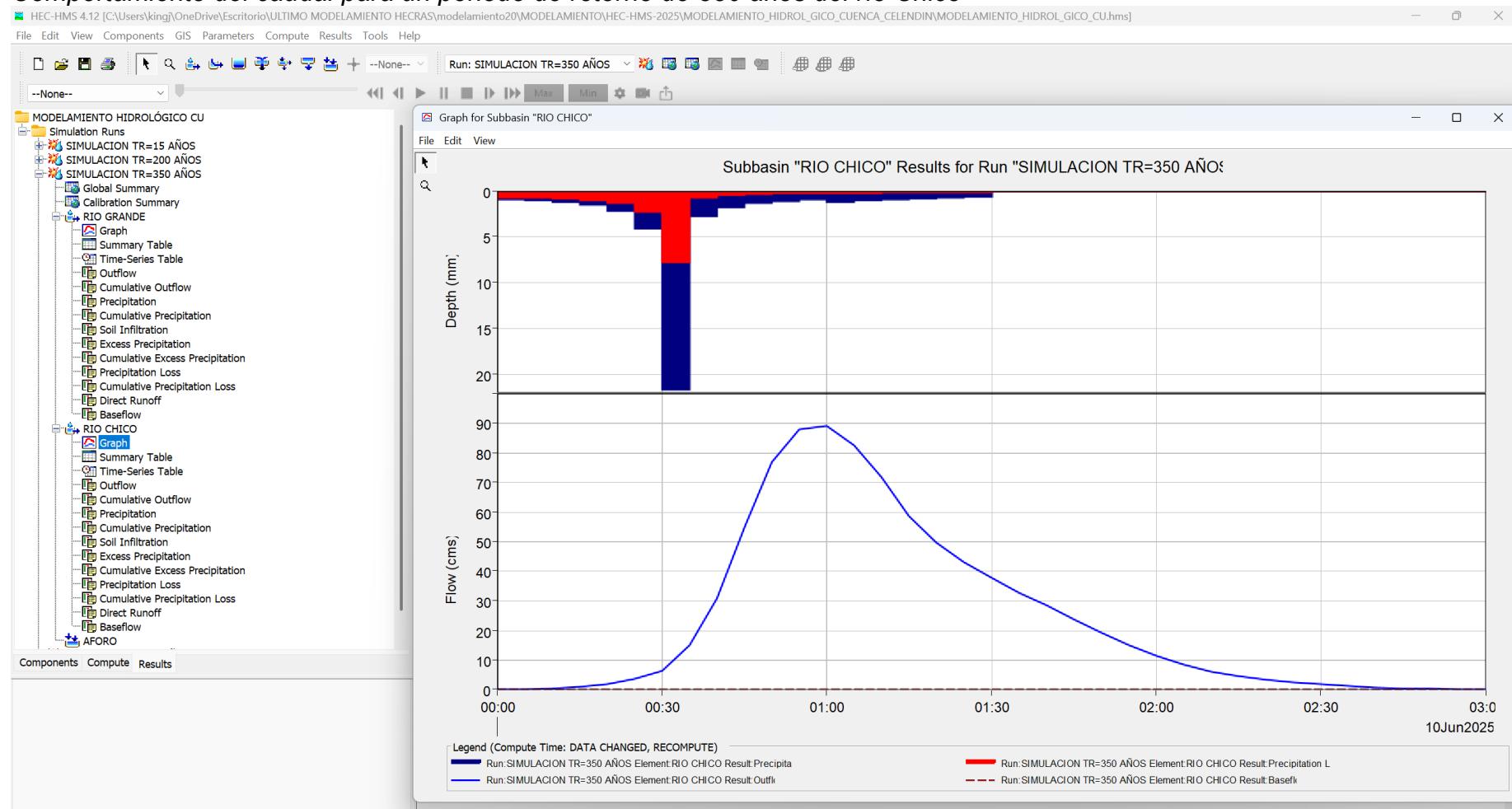
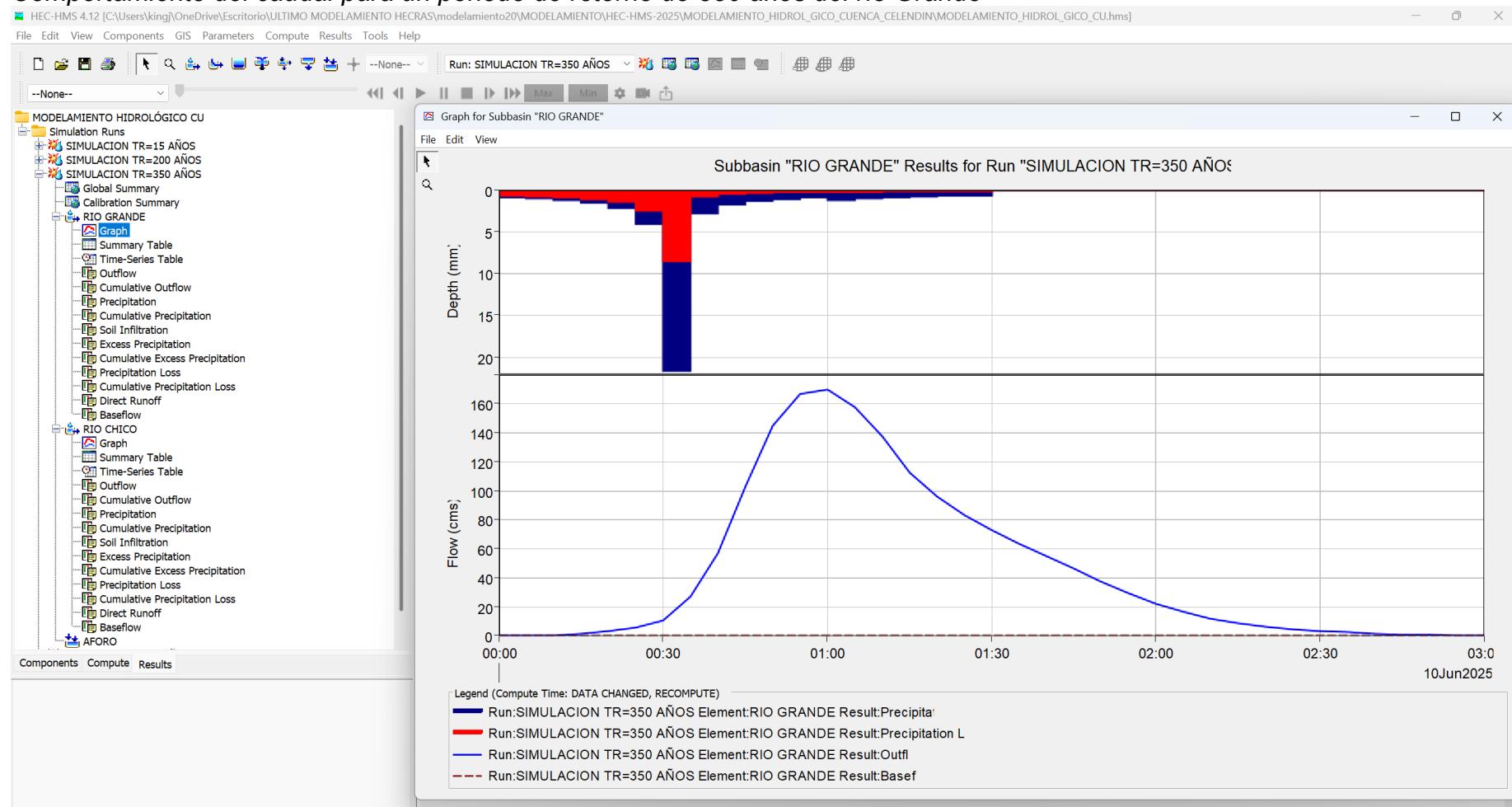


Figura 57

Comportamiento del caudal para un periodo de retorno de 350 años del río Grande



Anexo 4: Panel fotográfico

Fotografía 1
Vista del río Grande



Fotografía 2
Vista del río Chico



Fotografía 3

Vista de viviendas construidas con adobe, en diversos puntos del sector





Fotografía 4

Vista de viviendas construidas de tapial, en diversos puntos del sector





Anexo 5: Planos

1. Mapa de ubicación y delimitación de cuencas hidrográficas del río Chico y río Grande (P-01)
2. Mapa de uso de suelos en las microcuenca del río Chico y río Grande (P-02)
3. Plano Catastral del barrio El Porvenir de la ciudad de Celendín (P-03)
4. Polígono de análisis del nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación (P-04)
5. Tramos del río Chico y río Grande objeto de análisis del presente estudio (P-05)
6. Plano topográfico del barrio El Porvenir de la ciudad de Celendín (P-06)
7. Mapa de usos de suelos en parte baja del barrio El Porvenir (P-07)
8. Mapa de cobertura o coeficiente rugosidad de Manning “LANDCOVERLAYER” (P-08)
9. Huella de la inundación ocurrida en el barrio El Porvenir en el año 2017 (P-09)
10. Tirante de inundación para un periodo de retorno de 05 años (P-10)
11. Tirante de inundación para un periodo de retorno de 15 años (P-11)
12. Tirante de inundación para un periodo de retorno de 50 años (P-12)
13. Tirante de inundación para un periodo de retorno de 200 años (P-13)
14. Tirante de inundación para un periodo de retorno de 350 años (P-14)
15. Mapa de vulnerabilidad de la parte baja del barrio el Porvenir (P-15)
16. Mapa de riesgo de inundación para un periodo de retorno de 05 años (P-16)
17. Mapa de riesgo de inundación para un periodo de retorno de 15 años (P-17)
18. Mapa de riesgo de inundación para un periodo de retorno de 50 años (P-18)
19. Mapa de riesgo de inundación para un periodo de retorno de 200 años (P-19)
20. Mapa de riesgo de inundación para un periodo de retorno de 350 años (P-20)