

Modelación Hidrodinámica del Comportamiento Espacio -Temporal de la Escorrentía
Superficial en las Áreas Adyacentes a la Entrada del Túnel de Pamplona

Autor

Hamilton Andrés Granados Abril

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química
Programa Ingeniería Civil
Pamplona
2025

Modelación Hidrodinámica del Comportamiento Espacio -Temporal de la Escorrentía
Superficial en las Áreas Adyacentes a la Entrada del Túnel de Pamplona

Autor

Hamilton Andrés Granados Abril

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Diego Iván Sánchez Tapiero

M. Sc

Codirector

Carlos Alexis Bonilla Granados

M. Sc

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mi madre, quien ha sido el pilar fundamental en cada etapa de este proceso. Su apoyo incondicional, su fortaleza y su constante preocupación por mi bienestar, tanto físico como emocional y económico, fueron esenciales para que pudiera culminar esta etapa de mi vida. Siempre estuvo pendiente de cada detalle, de que nada me faltara, ofreciendo su ayuda sin esperar nada a cambio, con una entrega total que solo una madre puede brindar. En los momentos de dificultad, su voz de aliento y su ejemplo de lucha me impulsaron a seguir adelante. Gracias por cada sacrificio, por tu paciencia infinita, por tu fe inquebrantable en mí y por ese amor que no conoce límites. Este logro académico no es solo mío, es también tuyo, porque detrás de cada paso que di, estabas tú, sosteniéndome con tu amor y compromiso. Hoy, al cerrar este ciclo, solo puedo decir gracias, mamá, por ser mi mayor sostén, mi guía y mi fuerza. Este título lleva tu esencia en cada página, y te lo dedico con el corazón lleno de orgullo y gratitud eterna.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al director del proyecto M Sc. Diego Iván Sánchez Tapiero y codirector M Sc. Carlos Alexis Bonilla Granados cuyo conocimiento y orientación han sido invaluable para el desarrollo de este proyecto. Su apoyo constante y disposición para compartir su experiencia me ayudaron a superar los desafíos que surgieron en cada etapa del trabajo. Adicionalmente, se agradece al ingeniero Edier Alexander Atilua Bello, cuyo apoyo durante la etapa inicial fue fundamental para el inicio del proyecto, permitiendo así el desarrollo adecuado de cada una de las fases posteriores.

Asimismo, extendiendo mi gratitud a la Universidad de Pamplona que, a través de sus profesores y colaboradores, me brindó un espacio de aprendizaje y crecimiento profesional. Gracias a ellos, tuve acceso a recursos y conocimientos que me impulsaron a alcanzar mis metas académicas.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional y su paciencia a lo largo de este proceso. Su confianza en mis capacidades me motivó a esforzarme y completar este proyecto con éxito.

Tabla de Contenido

	Página
1. INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS.....	19
1.1. Objetivo General.....	19
1.2. Objetivos Específicos.....	19
2. MARCO REFERENCIAL	20
2.1. Marco de antecedentes o estado del arte.....	20
2.2. Marco teórico	23
2.2.1. Escorrentía superficial:.....	23
2.2.2. Modelación hidrodinámica.....	24
2.2.3. Modelación hidrológica.....	25
2.2.4. Modelación hidráulica.....	25
2.2.5. Software IBER	26
2.2.6. Software HEC-HMS	27
2.2.7. Método Muskingum	28
2.2.8. Número de Curva del SCS	30
2.2.9. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia	32
2.3. Marco Legal	32
3. MARCO CONTEXTUAL	33
4. METODOLOGÍA	36
4.1. Adquisición y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)	37
4.1.1. Obtener la Ortofoto y el MDT inicial derivado de fotogrametría	37

4.1.2.	Crear curvas de nivel a partir del MDT Inicial en ArcGis	38
4.1.3.	Generación del Modelo Digital de Terreno Final en Autodesk Civil 3D	39
4.1.4.	Determinar las características generales de la zona de estudio a partir de la topografía	39
4.2.	Delimitación cuencas y subcuencas hidrográficas utilizando ArcGIS	40
4.2.1.	Determinar áreas para caracterizar las condiciones del suelo.	40
4.2.2.	Delimitar áreas de aporte para analizar su influencia en el tiempo de concentración	40
4.3.	Implementación del modelo hidrológico Hec-Hms.....	41
4.3.1.	Adquisición y procesamiento de datos pluviométricos.....	41
4.3.2.	Obtención de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia	42
4.3.3.	Estimar el coeficiente de escorrentía.....	44
4.3.4.	Cálculo del tiempo de concentración para cada subcuenca	44
4.3.5.	Cálculo de hietogramas de las subcuencas.....	45
4.3.6.	Estimar el coeficiente de Curve Number del SCS	45
4.3.7.	Determinar los parámetros en el Método Muskingum.....	46
4.3.8.	Configuración del Modelo Hidrológico en HEC-HMS y selección de métodos de cálculo	46
4.3.9.	Calibración del modelo hidrológico Hec-Hms y obtención de hidrogramas	47
4.4.	Implementación del modelo hidrodinámico Iber	47
4.4.1.	Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning.....	47
4.4.2.	Pre-proceso de datos en el modelo Iber	48

4.4.3.	Utilizar los resultados del modelo hidrodinámico de IBER para generar mapas de escorrentía	49
4.4.4.	Determinar las áreas más vulnerables a inundación.....	49
5.	RESULTADOS.....	50
5.1.	Adquisición y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)	50
5.1.1.	Obtención de Ortofoto y MDT Inicial derivado de la fotogrametría	50
5.1.2.	Creación de curvas de nivel a partir del MDT en ArcGis	52
5.1.3.	Generación del Modelo Digital de Terreno (MDT) en Autodesk Civil 3D	52
5.1.4.	Análisis de las características generales de la zona de estudio a partir de la topografía	53
5.2.	Delimitación cuencas y subcuencas hidrográficas utilizando ArcGIS	54
5.2.1.	Identificación áreas para caracterizar las condiciones del suelo.	54
5.2.2.	Definición áreas de aporte para analizar su influencia en el tiempo de concentración	55
5.3.	Implementación y análisis del modelo hidrológico Hec-Hms	56
5.3.1.	Adquisición y procesamiento de datos pluviométricos.....	56
5.3.2.	Generación de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia	60
5.3.3.	Estimación el coeficiente de escorrentía	64
5.3.4.	Cálculo del tiempo de concentración para cada subcuenca	65
5.3.5.	Elaboración de hietogramas de las subcuencas.....	66
5.3.6.	Estimación el coeficiente de Curve Number del SCS.....	67
5.3.7.	Valores estimados del Método Muskingum.....	70
5.3.8.	Distribución del Modelo Hidrológico y Datos de Entrada en HEC-HMS	71

5.3.9.	Ajuste y análisis de hidrogramas del modelo hidrológico en HEC-HMS.....	73
5.4.	Implementación del modelo hidrodinámico Iber	74
5.4.1.	Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning.....	74
5.4.2.	Preproceso de datos en el modelo Iber.....	75
5.4.3.	Utilizar los resultados del modelo hidrodinámico de IBER para generar mapas de escorrentía	76
5.4.4.	Determinar las áreas más vulnerables a inundación.....	78
6.	CONCLUSIONES	86
7.	RECOMENDACIONES	89
8.	REFERENCIAS	90
9.	ANEXOS.....	94
	Anexo 1, Tablas e ilustraciones de los hietogramas de todas las subcuencas.....	94
	Anexo 2, Tablas de hidrogramas de 50 y 100 años de periodo de retorno	107

Lista de Tablas

	Página
TABLA 1 <i>NUMERO DE CURVA PARA USOS SELECTOS DE TIERRA AGRÍCOLA, SUBURBANA Y URBANA</i>	31
TABLA 2 <i>DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL</i>	41
TABLA 3 <i>VALORES REGIONALIZADOS PARA LA ECUACIÓN DEL MÉTODO SIMPLIFICADO</i>	43
TABLA 4 <i>VALOR DE LAS ÁREAS DE LAS SUBCUENCAS DELIMITADAS</i>	56
TABLA 5 <i>DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL ANUAL COMPLETOS</i>	57
TABLA 6 <i>PRECIPITACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO MÉTODO SIMPLIFICADO.....</i>	61
TABLA 7 <i>VALORES DE LAS VARIABLES MÉTODO IDEAM PARA CURVA IDF</i>	62
TABLA 8 <i>PRECIPITACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO MÉTODO IDEAM.....</i>	62
TABLA 9 <i>VALORES DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA CADA SUBCUENCA</i>	64
TABLA 10 <i>VALORES DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE CADA SUBCUENCA</i>	66
TABLA 11 <i>VALORES DEL HIETOGRAMA PARA SUBCUENCA 1</i>	66
TABLA 12 <i>VALORES DE NUMERO DE CURVA DE LAS SUBCUENCAS DEL PROYECTO</i>	68
TABLA 13 <i>VALORES DEL MÉTODO MUSKINGUM DE LOS TRAMOS DEL MODELO HIDROLÓGICO</i>	70
TABLA 14 <i>HIDROGRAMAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS</i>	73
TABLA 15 <i>VALORES DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING</i>	75
TABLA 16 <i>VALORES DE TIRANTE Y VELOCIDAD EN ZONA UNIVERSITARIA</i>	78
TABLA 17 <i>EVALUACIÓN DEL NIVEL DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LOS PUNTOS DE CONTROL</i>	
<i>SEGÚN PERIODOS DE RETORNO</i>	84
TABLA 18 <i>HIETOGRAMA SUB-1 PARA PR DE 10 AÑOS</i>	94
TABLA 19 <i>HIETOGRAMA SUB-1 PARA PR DE 50 AÑOS</i>	94
TABLA 20 <i>HIETOGRAMA SUB-1 PARA PR DE 100 AÑOS</i>	95

TABLA 21	HIETOGRAMA SUB-2 PARA PR DE 10 AÑOS	96
TABLA 22	HIETOGRAMA SUB-2 PARA PR DE 50 AÑOS	96
TABLA 23	HIETOGRAMA SUB-2 PARA PR DE 100 AÑOS	96
TABLA 24	HIETOGRAMA SUB-3 PARA PR DE 10 AÑOS	97
TABLA 25	HIETOGRAMA SUB-3 PARA PR DE 50 AÑOS	98
TABLA 26	HIETOGRAMA SUB-3 PARA PR DE 100 AÑOS	98
TABLA 27	HIETOGRAMA SUB-4 PARA PR DE 10 AÑOS	99
TABLA 28	HIETOGRAMA SUB-4 PARA PR DE 50 AÑOS	100
TABLA 29	HIETOGRAMA SUB-4 PARA PR DE 100 AÑOS	100
TABLA 30	HIETOGRAMA SUB-5 PARA PR DE 10 AÑOS	101
TABLA 31	HIETOGRAMA SUB-5 PARA PR DE 50 AÑOS	102
TABLA 32	HIETOGRAMA SUB-5 PARA PR DE 100 AÑOS	102
TABLA 33	HIETOGRAMA SUB-6 PARA PR DE 10 AÑOS	103
TABLA 34	HIETOGRAMA SUB-6 PARA PR DE 50 AÑOS	103
TABLA 35	HIETOGRAMA SUB-6 PARA PR DE 100 AÑOS	103
TABLA 36	HIETOGRAMA SUB-7 PARA PR DE 10 AÑOS	104
TABLA 37	HIETOGRAMA SUB-7 PARA PR DE 50 AÑOS	105
TABLA 38	HIETOGRAMA SUB-7 PARA PR DE 100 AÑOS	105
TABLA 39	HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-7 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS	106
TABLA 40	HIDROGRAMA PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	107
TABLA 41	HIDROGRAMA PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	108

Lista de Ilustraciones

Página

ILUSTRACIÓN 1 <i>EVIDENCIA DE LA AFECTACIÓN A LAS INSTALACIONES EN LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.</i>	17
ILUSTRACIÓN 2 <i>EJEMPLO DE SIMULACIÓN DEL RIO SINÚ TRAMO MONTERÍA CON IBER.</i>	27
ILUSTRACIÓN 3 <i>ALMACENAMIENTOS POR PRISMA Y CUÑA EN UN TRAMO DE UN CANAL</i>	29
ILUSTRACIÓN 4 <i>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO PARA EL PROYECTO.</i>	34
ILUSTRACIÓN 5 <i>UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO PARA EL PROYECTO</i>	35
ILUSTRACIÓN 6 <i>EVIDENCIA DEL MANEJO DEL DRON PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS</i>	37
ILUSTRACIÓN 7 <i>EVIDENCIA DEL MANEJO DEL DRON PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS</i>	38
ILUSTRACIÓN 8 <i>REGIONALIZACIÓN DEFINIDA EN EL MÉTODO SIMPLIFICADO</i>	43
ILUSTRACIÓN 9 <i>CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ZONAS Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS POR RTK</i>	50
ILUSTRACIÓN 10 <i>ORTOFOTO DEL ÁREA DEL PROYECTO</i>	51
ILUSTRACIÓN 11 <i>MDT INICIAL DEL ÁREA DEL PROYECTO</i>	51
ILUSTRACIÓN 12 <i>CURVAS DE NIVEL A PARTIR DEL MDT</i>	52
ILUSTRACIÓN 13 <i>MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL ÁREA DEL PROYECTO.</i>	53
ILUSTRACIÓN 14 <i>COMPARACIÓN DE LA ZONA ESTUDIO A PARTIR DE IMÁGENES AÉREAS</i>	54
ILUSTRACIÓN 15 <i>CLASIFICACIÓN DE ÁREAS POR COBERTURA DE SUELO</i>	55
ILUSTRACIÓN 16 <i>DELIMITACIÓN DE LAS SUBCUENCAS POR DIRECCIÓN DE FLUJO</i>	56
ILUSTRACIÓN 17 <i>PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL</i>	59
ILUSTRACIÓN 18 <i>PRECIPITACIÓN MÁXIMA POR AÑO.</i>	60
ILUSTRACIÓN 19 <i>CURVA IDF MÉTODO SIMPLIFICADO</i>	61
ILUSTRACIÓN 20 <i>CURVA IDF DEL IDEAM</i>	63

ILUSTRACIÓN 21	<i>COMPARACIÓN DE LAS CURVAS IDF POR MÉTODO SIMPLIFICADO Y MÉTODO IDEAM</i>	<i>63</i>
ILUSTRACIÓN 22	<i>GRAFICO DEL HIETOGRAMA DE LA SUBCUENCA 1</i>	<i>67</i>
ILUSTRACIÓN 23	<i>DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES DEL MODELO HIDROLÓGICO.</i>	<i>71</i>
ILUSTRACIÓN 24	<i>VALORES DE ÁREA Y NUMERO DE CURVA INGRESADOS EN HEC-HMS.....</i>	<i>72</i>
ILUSTRACIÓN 25	<i>VALORES DE TIEMPO DE RETARDO Y MUSKINGUM INGRESADOS EN HEC-HMS</i>	<i>72</i>
ILUSTRACIÓN 26	<i>USO DE SUELO ASIGNADO EN EL PREPROCESO</i>	<i>76</i>
ILUSTRACIÓN 27	<i>MAPA DE ESCORRENTÍA DEL PROYECTO PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS</i>	<i>77</i>
ILUSTRACIÓN 28	<i>MAPA DE ESCORRENTÍA DEL PROYECTO PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS</i>	<i>77</i>
ILUSTRACIÓN 29	<i>MAPA DE ESCORRENTÍA DEL PROYECTO PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS</i>	<i>78</i>
ILUSTRACIÓN 30	<i>MAPA DE PROFUNDIDAD DE ESCORRENTÍA DE LA ZONA DE LA UNIVERSIDAD DE PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS</i>	<i>79</i>
ILUSTRACIÓN 31	<i>MAPA DE VELOCIDAD DE LA ZONA DE UNIVERSIDAD PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS</i>	<i>79</i>
ILUSTRACIÓN 32	<i>MAPA DE PROFUNDIDAD DE ESCORRENTÍA DE LA ZONA DE LA UNIVERSIDAD DE PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS</i>	<i>80</i>
ILUSTRACIÓN 33	<i>MAPA DE VELOCIDAD DE LA ZONA DE UNIVERSIDAD PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS</i>	<i>80</i>
ILUSTRACIÓN 34	<i>MAPA DE PROFUNDIDAD DE ESCORRENTÍA DE LA ZONA DE LA UNIVERSIDAD DE PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS</i>	<i>81</i>
ILUSTRACIÓN 35	<i>MAPA DE VELOCIDAD DE LA ZONA DE UNIVERSIDAD PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS</i>	<i>81</i>

ILUSTRACIÓN 36 RUTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIONES

FLUVIALES LENTAS EN ÁREAS CON ALTA SUSCEPTIBILIDAD. 82

ILUSTRACIÓN 37 NIVELES DE IMPACTO POTENCIAL SEGÚN LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA

INUNDACIÓN 83

ILUSTRACIÓN 38 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-1 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 95

ILUSTRACIÓN 39 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-2 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 97

ILUSTRACIÓN 40 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-3 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 99

ILUSTRACIÓN 41 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-4 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 101

ILUSTRACIÓN 42 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-5 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 102

ILUSTRACIÓN 43 HIETOGRAMA DE SUBCUENCA-6 PARA PR 10, 50 Y 100 AÑOS 104

Resumen

Este trabajo de grado tiene como propósito principal analizar el comportamiento espacio-temporal de la escorrentía superficial en el área comprendida entre la entrada del túnel de la doble calzada Pamplona–Cúcuta y el bloque Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona. El contexto geográfico y urbano de la zona, caracterizado por una creciente impermeabilización del suelo y modificaciones en la infraestructura, ha incrementado el riesgo de inundaciones, afectando directamente a la comunidad universitaria. Con base en esta problemática, se desarrolló un modelo hidrodinámico que permite identificar zonas vulnerables ante eventos extremos de precipitación.

La metodología se estructuró en tres fases: primero, se obtuvo y procesó el Modelo Digital del Terreno (MDT) mediante vuelos con dron y corrección con tecnología RTK; luego, se implementó el modelo hidrológico en HEC-HMS; finalmente, se aplicó el modelo hidrodinámico en IBER para simular distintos escenarios de flujo y generar mapas de profundidad y velocidad.

Los resultados mostraron que, para los distintos periodos de retorno (10, 50 y 100 años), la zona del parqueadero universitario presenta un riesgo bajo de inundación, mientras que la entrada al campus concentra mayores valores de tirante y velocidad, lo que exige atención especial debido a la convergencia del caudal de varias subcuencas. No obstante, en términos generales, el sistema de drenaje existente muestra una respuesta aceptable, aunque requiere medidas complementarias de mitigación.

En conclusión, este estudio permitió identificar puntos críticos de acumulación y velocidad del flujo, y proporciona una herramienta técnica útil para la planificación urbana, la gestión del riesgo y la toma de decisiones institucionales. Sus resultados pueden ser empleados por entidades locales y regionales como base para estrategias de prevención y adaptación frente al cambio climático.

Abstrac

The main purpose of this degree work is to analyze the spatial behavior temporary surface runoff in the area between the entrance of the double tunnel Pamplona–Cúcuta road and the Simón Bolívar block of the University of Pamplona. The context geographic and urban development of the area, characterized by increasing soil waterproofing and modifications to the infrastructure have increased the risk of flooding, affecting directly to the university community. Based on this problem, a model was developed hydrodynamic that allows identifying vulnerable areas in the face of extreme precipitation events.

The methodology was structured in three phases: first, the Digital Model of the Terrain (MDT) using drone flights and correction with RTK technology; then, it was implemented the hydrological model in HEC-HMS; finally, the hydrodynamic model was applied in IBER to simulate different flow scenarios and generate depth and velocity maps.

The results showed that, for the different return periods (10, 50 and 100 years), the area The university parking lot presents a low risk of flooding, while the entrance to the campus concentrates higher values of depth and speed, which requires special attention due to

the convergence of the flow of several sub-basins. However, in general terms, the system The existing drainage system shows an acceptable response, although it requires additional measures.

mitigation.

In conclusion, this study allowed us to identify critical points of accumulation and speed of the flow, and provides a useful technical tool for urban planning, risk management and institutional decision-making. Its results can be used by local entities and regional as a basis for prevention and adaptation strategies to climate change

1. Introducción

Colombia, debido a su ubicación geográfica, se encuentra expuesta de manera constante a fenómenos naturales de gran impacto. Entre estos, las inundaciones representan uno de los eventos más frecuentes y devastadores, generando pérdidas materiales, afectaciones sociales y económicas a gran escala. Estos eventos afectan anualmente a millones de personas alrededor del mundo, exigiendo a las entidades encargadas del ordenamiento territorial y la gestión del riesgo el desarrollo de estrategias eficaces para mitigar sus efectos. Es evidente que los desastres naturales no respetan las fronteras y causan repercusiones catastróficas, como ocurrió en Colombia con el fenómeno de El Niño en la región andina colombiana entre 1997 y 1998, las inundaciones en Europa en el año 2002 y el tsunami en Asia en 2004 (Gordillo-Rodríguez, 2013)

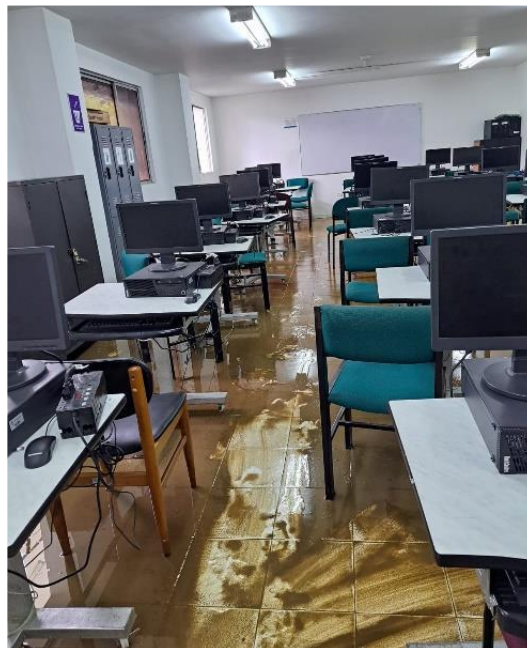
En el contexto local, el crecimiento urbano acelerado y la ejecución de obras de infraestructura vial han producido una alta impermeabilización del suelo, reduciendo su capacidad de infiltración natural. Esta transformación ha provocado un incremento en los volúmenes de escorrentía superficial, ocasionando que las redes de drenaje pluvial existentes colapsen ante eventos de lluvia intensa, generando afectaciones directas a la población (Cubides & Santos, 2018). Un ejemplo específico de esta problemática se observa en el campus principal de la Universidad de Pamplona, el cual ha sido impactado por algunas inundaciones, posiblemente derivadas de la modificación del entorno natural tras la construcción del túnel correspondiente al proyecto de la doble calzada Pamplona–Cúcuta. Esta situación representa un riesgo creciente para la infraestructura universitaria y la seguridad de quienes transitan por la zona.

Diversos estudios han demostrado que la impermeabilización del terreno, producto de la expansión urbana descontrolada, genera alteraciones significativas en el régimen hidrológico natural. Estas transformaciones provocan un incremento en la velocidad y volumen del

escurrimiento superficial, afectando tanto a las zonas urbanas como periurbanas (Cubides & Santos, 2018) En consecuencia, la capacidad de los sistemas de drenaje suele ser insuficiente, lo cual desemboca en la saturación de colectores y en la ocurrencia de inundaciones.

Ilustración 1

Evidencia de la afectación a las instalaciones en la Universidad de Pamplona.



Nota: Imagen tomada en el aula de sistemas del bloque Simón Bolívar después de un evento de lluvias.

Estos eventos no son exclusivos de la ciudad de Pamplona, pero se manifiesta de forma crítica en el área de influencia directa del túnel recientemente construido. La ubicación de esta infraestructura metros arriba de la entrada principal de la Universidad ha modificado la dinámica hidráulica del sector, generando nuevas trayectorias de flujo superficial que afectan directamente las instalaciones académicas y administrativas. Esta situación plantea la necesidad de realizar un análisis detallado del comportamiento del drenaje y de las condiciones hidrológicas actuales.

Frente a esta problemática, la elaboración de modelos hidrológicos e hidráulicos se constituye como una herramienta fundamental para la evaluación de riesgos asociados a eventos de precipitación extrema. Los hidrogramas, en conjunto con los mapas de flujo, permiten visualizar y comprender la dinámica del escurrimiento superficial, facilitando así la identificación de zonas vulnerables y el diseño de medidas correctivas.

El propósito principal de este proyecto es desarrollar un modelo hidrodinámico con el cual se pueda analizar el comportamiento espacio-temporal de la escorrentía superficial en las áreas cercanas a la entrada del Túnel de Pamplona, ante eventos climáticos extremos. Para ello, se utilizarán datos topográficos detallados, información pluviométrica representativa de la zona, características morfométricas de la cuenca, y coberturas del suelo actualizadas. Este análisis se apoyará en el uso de herramientas computacionales especializadas como HEC-HMS e IBER, que permitirán simular distintos escenarios de precipitación y flujo superficial. Como resultado, se espera obtener información precisa sobre los patrones de escurrimiento que afectan al campus universitario, y con ello, establecer las causas específicas de las afectaciones presentadas.

Adicionalmente, los resultados de este estudio podrán ser utilizados por entidades locales y regionales como insumo para la planificación de obras de infraestructura, la actualización de planes de ordenamiento territorial, y la formulación de estrategias de adaptación al cambio climático. En este sentido, el principal aporte del trabajo radica en la generación de conocimiento aplicado que contribuya a la gestión del riesgo y a la sostenibilidad urbana en la ciudad de Pamplona.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo hidrodinámico para el análisis de la esorrentía superficial con el fin de conocer el comportamiento espacio temporal del flujo ante un evento extremo del clima en las áreas adyacentes a la entrada del túnel de pamplona.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico detallado como análisis técnico y descriptivo del terreno con el fin de conocer el estado actual del sistema de drenaje existente.
- Hacer los hietogramas de diseño para evaluar el sistema de drenaje existente mediante la información pluviométrica de la zona de estudio.
- Construir el modelo hidrodinámico de la cuenca en estudio mediante la información existente, verificando las soluciones numéricas de las ecuaciones que rigen el flujo.
- Modelar computacionalmente la zona de estudio para conocer el comportamiento espacio temporal de la esorrentía ante un evento extremo del clima.
- Generar los mapas de esorrentía de flujo mediante las variables hidráulicas obtenidas en el modelo hidrodinámico con el fin de conocer las afectaciones causadas

2. Marco Referencial

2.1. Marco de antecedentes o estado del arte

El aumento de impermeabilización de suelos debido al avance en materia de urbanización y ejecución de obras civiles a nivel mundial para el desarrollo de las ciudades ha ocasionado afectaciones a comunidades, en el caso de inundaciones la escorrentía o acciones naturales es fundamental conocer su comportamiento, a razón de esto se ha realizado estudios como es el caso de (Triviño & Ortiz Rojas, 2004) proponen un método para estimar la propagación de caudales y niveles de agua en este tipo de cuencas durante una precipitación de fuerte intensidad horaria, en el caso de la conversión lluvia-caudal se abarca desde la perspectiva del caudal máximo, empleando el método racional modificado y el modelo de infiltración del SCS.

Existen diversos softwares hidrológicos que ofrecen herramientas avanzadas para analizar y predecir estos fenómenos. Dos de los más destacados son el HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) y el IBER (Interconnected Basin Environmental Response model). Además, existen otros programas como HEC-RAS, SWAT, MIKE SHE, MODFLOW, EPIC y WEAP, cada uno con sus propias características y enfoques, ampliando así el abanico de opciones para investigadores e ingenieros en la gestión de recursos hídricos. (Sierra Porgutá, 2015) realizó una comparación entre metodologías de modelación hidrológica hec-hms, hidráulica en 1D HEC-RAS y 2D modelo IBER, de planicies de Inundación y zonas urbanas, dentro de los hallazgos esta que para flujo permanente la lámina de agua del modelo Iber se encuentra un 75.4% del alineamiento del río sobre la lámina del modelo Hec-Ras. Los resultados del modelo Iber fueron eminentemente superiores en la zona urbana debido a la presencia de remansos en las estructuras, por lo que el modelo Iber tiene una marcada tendencia a la seguridad principalmente en la zona urbana.

El software SWAT sirve para hallar caudales de esorrentía, en complemento con Iber que es utilizado en la simulación de inundaciones en aguas someras, es decir poco profundas. Para un proyecto donde se desee realizar una simulación y análisis de inundaciones en cabeceras de cuenca, los archivos que serán necesarios son: imágenes satelitales, archivos DEM, caudales máximos. (Boza et al., 2021) observó que en cuanto a la etapa de pre-proceso del software IBER y en cabeceras de cuenca, se debe puntualizar la sectorización y asignación adecuada del coeficiente de Manning, así como la generación y modificación de la malla, ello, por las características geomorfológicas encajonadas, el tipo de macizos rocosos y acumulado sedimentario morrénico a leptosoles.

En lugares como el municipio de Ayapel Córdoba que presenta una amenaza alta por inundaciones gracias al desbordamiento del río San Jorge y río Cauca, es por ello que para acompañar las labores de gestión de riesgo es sustancial tener un modelo de predicción que empleando la ecuación diferencial determinista, debido a su sencillez, representa una ventaja para la aplicación del modelo en las oficinas del sistema de alertas tempranas y corporaciones, se concluye que al tomar grupos de datos mayores de 300 a 5000 (datos disponibles de la estación de los niveles de agua del río San Jorge) se obtenían pronósticos favorables. Y menores a 300 los pronósticos eran inaceptables (Barrios García & Barrios García, 2015).

Algunos programas que son complemento a los mencionados anteriormente podemos encontrar HEC-GEOHMS y HEC-GEORAS son herramientas de software desarrolladas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) como complementos para el software de SIG (Sistemas de Información Geográfica) ArcGIS, es que utilizado para llevar a cabo

la caracterización morfométrica y el modelamiento hidrológico como hidráulico de una cuenca. El modelo HEC-HMS permitió establecer el comportamiento hidrológico de la cuenca, obteniendo los hidrogramas caudales pico y volumen total de escorrentía para la condición actual y para las medidas propuestas, ante eventos de precipitación. Se han podido establecer las cotas de la lámina de agua, que en general se conocen como las cotas de inundación, luego todas estas se pueden obtener en el perfil longitudinal que arroja la modelación en HEC-RAS y además se pueden determinar también en todas y cada una de las secciones transversales del cauce (Ortiz-Higuera, 2015).

Es fundamental caracterizar la respuesta espacio-temporal de la escorrentía superficial es por ello que (Martínez Esquivel, 2023) realizó la calibración y validación de un modelo hidrológico-hidráulico distribuido en la cuenca Río Chapingo, de 1.547 ha, con el programa Iber; empleando el método de Número de Curva en el modelo hidrológico para calcular la escorrentía superficial. El programa se alimentó con precipitación medida en cuatro sitios estratégicos a lo largo de la cuenca, con equipos automatizados de alta precisión y resolución. La calibración del modelo propuesto consistió en ajustar los valores del Número de Curva y el coeficiente de rugosidad de Manning para minimizar los errores entre los hidrogramas observados y simulados en la salida de la cuenca.

Conocer la respuesta hidrológica en cuencas urbanas de alta montaña, donde el aumento del proceso de urbanización ha producido modificaciones en la dinámica natural de las cuencas, trayendo como consecuencia aumentos en los volúmenes de escorrentía, en los caudales punta y en las velocidades de flujo, lo que a su vez incrementa el riesgo a inundaciones pluviales, es por

ello que (Valencia & Nájera, 2018) presenta una modelación hidrológica con HEC-HMS de una pequeña cuenca experimental urbana, ubicada en zona montañosa de la ciudad de Manizales, Colombia. Se encontró que el tiempo para alcanzar el caudal pico es mayor para la zona menos intervenida con respecto a la zona urbana. Sin embargo, la respuesta total la cuenca de estudio no es tan rápida dado que es atenuada en la zona menos intervenida por el uso de suelo muy poco urbano, con zonas más vegetación.

La población del corregimiento El Playón en el departamento de Santander, Colombia ha sido históricamente afectada por inundaciones derivadas de altas precipitaciones y una red ineficiente de drenaje pluvial, situación que se agrava en temporada invernal por el aumento del caudal en los cauces locales. Por ello, (Pedraza Camacho & Plazas Espinosa, 2020) desarrollaron dos modelos de inundación empleando los softwares ArcGIS 10.4.1, HEC-GeoHMS, HEC-HMS 4.1 y HEC-RAS. Para el tránsito de caudales se utilizó el método de Muskingum, definiendo el parámetro K como el tiempo de recorrido del flujo, y asignando un valor constante de 0,2 a X, debido a la falta de datos históricos de crecidas. Los resultados del modelo hidráulico demostraron que desde un periodo de retorno de 2 años los caudales superan los niveles de peligrosidad establecidos, evidenciando la alta vulnerabilidad de la zona

2.2. Marco teórico

2.2.1. Escorrentía superficial:

La escorrentía superficial se genera cuando el suelo alcanza su límite de absorción y el agua excedente comienza a fluir sobre la superficie. Para representar este proceso, muchos modelos hidrogeológicos convierten el exceso de agua en escorrentía, lo que puede derivar en inundaciones con impactos significativos tanto en infraestructura como en la seguridad de las personas. La cantidad de agua que logra infiltrarse en el suelo depende de distintos factores, entre ellos, la

permeabilidad del terreno, el tipo de cobertura vegetal y la humedad presente antes de un evento de precipitación. Su cálculo puede realizarse mediante modelos físicos o a partir de relaciones empíricas que ayudan a comprender mejor el comportamiento del agua en diferentes condiciones ambientales (Gelpi, 2015).

Para calcular el volumen de escorrentía en una cuenca, es fundamental analizar varios factores, como su extensión, la cantidad total de precipitación, la morfología del terreno incluyendo forma y pendiente, la variabilidad espacial y temporal de la lluvia. Para ello, se emplean distintos enfoques, como métodos empíricos, análisis estadísticos y el hidrograma unitario. Entre los procedimientos más utilizados se encuentra el método racional, conocido por su simplicidad en la representación del efecto de la lluvia sobre la escorrentía. Este método parte de dos premisas fundamentales: la escorrentía se mantiene constante en toda la cuenca y la precipitación es uniforme tanto en su distribución espacial como en su duración (Romera & Santos, s. f.).

2.2.2. Modelación hidrodinámica

La modelación matemática consiste en la representación de sistemas o fenómenos naturales a través de ecuaciones que describen su comportamiento. En el caso del flujo libre, este enfoque permite predecir variables como la velocidad del agua, el transporte de sedimentos y los procesos de socavación. Para ello, se resuelven ecuaciones hidrodinámicas que rigen estos fenómenos, proporcionando una herramienta clave para el análisis y la gestión de sistemas hídricos (Rodríguez Sarasty & Jojoa Ayala, 2012).

El adecuado manejo de la hidrodinámica en una cuenca es esencial para garantizar un flujo de agua controlado y estable, lo que permite reducir el riesgo de inundaciones y minimizar la erosión del suelo. Esto no solo protege la infraestructura y los ecosistemas naturales, sino que también contribuye a preservar la calidad del agua. La dinámica del flujo en una cuenca está

influenciada por diversos factores que varían en el espacio y el tiempo, como la topografía del terreno, la cobertura vegetal, las características geológicas, el uso del suelo y las condiciones climáticas.

2.2.3. Modelación hidrológica

La ubicación geográfica de Colombia, dentro de una zona tropical, favorece la existencia de una amplia diversidad de hidrosistemas, los cuales desempeñan un papel fundamental en la dinámica del flujo de agua. Entre estos, destacan los desbordamientos de ríos en las llanuras y la densa red hidrográfica de la región andina, donde los ríos nacen en páramos y nevados, atravesando zonas montañosas en las que coexisten diversas actividades socioeconómicas.

La modelación hidrológica permite, entre otras aplicaciones, estimar caudales y otras variables del ciclo hidrológico en una cuenca, evaluar el impacto de la variabilidad climática en el régimen hídrico y caracterizar eventos extremos, como aumentos significativos de caudal o reducciones en períodos de sequía. Además, facilita el análisis de los posibles efectos del cambio climático, así como de las modificaciones en la cobertura del suelo y otros factores que influyen en el comportamiento hidrológico de una cuenca (*Modelación hidrológica - IDEAM*, s. f.).

2.2.4. Modelación hidráulica

La modelación matemática del flujo de agua busca determinar los valores de variables hidráulicas como el tirante, la velocidad, el caudal y el régimen, a partir de la resolución de ecuaciones obtenidas bajo ciertas hipótesis mediante métodos numéricos. Dado que esta modelación es una representación aproximada de la realidad, la precisión de los resultados dependerá de qué tan bien se ajusten las ecuaciones utilizadas y el esquema numérico a las condiciones del fenómeno estudiado.

En cuanto al régimen variable del flujo, este puede clasificarse en dos tipos: el régimen gradualmente variado, en el cual los cambios en el tirante y el caudal ocurren de manera lenta y en un tramo extenso, y el régimen rápidamente variado, donde las variaciones son bruscas y ocurren en un tramo corto, tanto en el espacio como en el tiempo. Para describir el comportamiento del flujo en lámina libre en una dimensión, se emplean las ecuaciones de Saint-Venant, que permiten representar ambos tipos de régimen (Guarniz Muñoz, 2014).

2.2.5. Software IBER

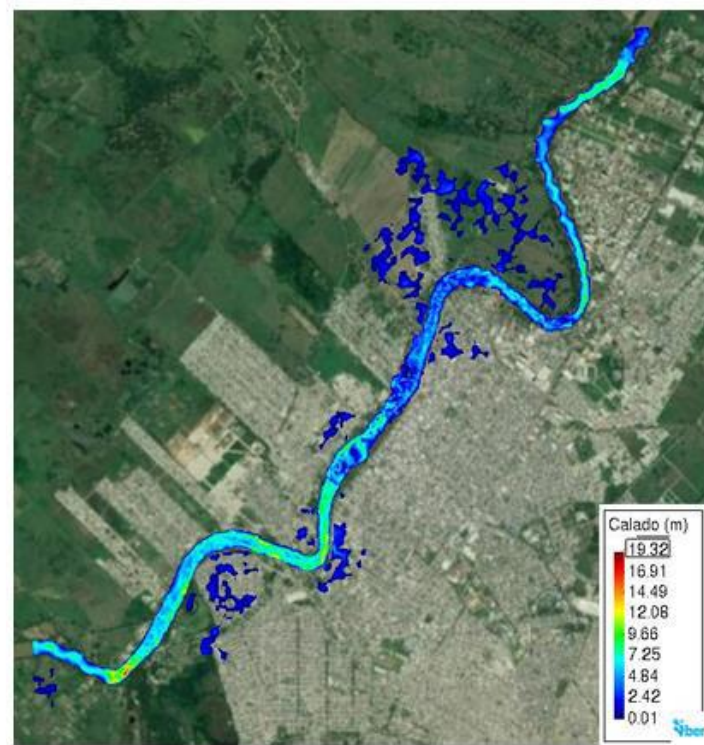
Iber es un modelo matemático bidimensional diseñado para la simulación del flujo turbulento en lámina libre bajo régimen no permanente. Este modelo fue desarrollado de manera colaborativa por distintos grupos de ingeniería de universidades como La Coruña, Santiago de Compostela y la Universidad Politécnica de Cataluña, con el respaldo del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Iber está conformado por diversos módulos, entre ellos: el módulo hidrodinámico, hidrológico, de turbulencia, de transporte de sedimentos y un módulo de calidad del agua (Romero-Pérez & Gómez-Romero, 2022).

Este modelo tiene múltiples aplicaciones, entre las que destacan:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación y delimitación de zonas inundables.
- Identificación de zonas de flujo preferente.
- Análisis hidráulico de encauzamientos y redes de canales en lámina libre.
- Modelación de corrientes de marea en estuarios.
- Estudio de la estabilidad de los sedimentos del lecho.
- Análisis de procesos de erosión y sedimentación asociados al transporte de material granular.

Ilustración 2

Ejemplo de simulación del río Sinú tramo Montería con Iber



Nota: La figura muestra la simulación hecha en Iber de un cauce con el fin de conocer las áreas inundables para un periodo de retorno de 100 años (Hernández Sibaja & Ruíz Hernández, 2021)

2.2.6. Software HEC-HMS

El Sistema de Modelado Hidrológico (Hydrologic Modeling System, HMS), conocido como HEC-HMS, es una herramienta avanzada para la simulación de procesos hidrológicos. Fue desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center, HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps), con el propósito de analizar el comportamiento del agua en diversas cuencas hidrográficas y contribuir a la planificación y gestión de los recursos hídricos.

El modelo HEC-HMS permite simular la respuesta hidrológica de una cuenca ante un evento de precipitación, representando el escurrimiento superficial como un sistema compuesto por elementos hidrológicos e hidráulicos interconectados. Cada uno de estos elementos modela un aspecto particular del proceso de esorrentía dentro de una sección específica de la cuenca, conocida como subcuenca, lo que facilita un análisis detallado del comportamiento del agua en el territorio estudiado (Béjar, 2015). Este modelo es de acceso libre debido que su licencia es de dominio, así que por lo que su descarga, así como una cantidad considerable de información, incluyendo las guías para el manejo del software en cada una de sus actualizaciones, todo se encuentra en su página web principal.

2.2.7.Método Muskingum

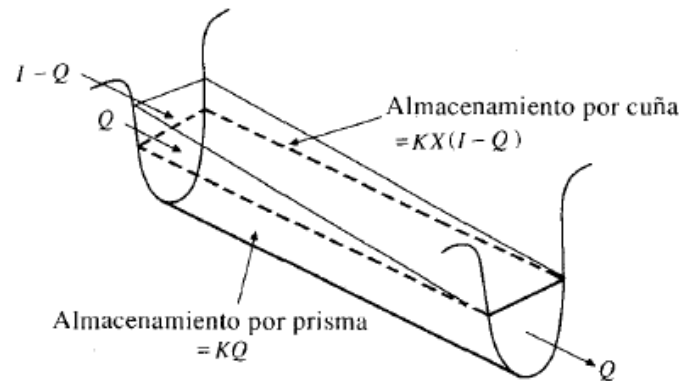
Según (Chow & Maidment, 1994), el método de Muskingum es una técnica de tránsito hidrológico ampliamente utilizada para representar la relación variable entre caudal y almacenamiento. Este enfoque modela el almacenamiento volumétrico de una creciente en un canal fluvial mediante la combinación de dos tipos de almacenamiento: cuña y prisma. Durante el avance de la onda de creciente, el caudal de entrada supera al de salida, generando un almacenamiento en forma de cuña positiva. En la fase de recesión, ocurre lo contrario: el caudal de salida es mayor que el de entrada, formando una cuña negativa. Además, se encuentra el almacenamiento prismático, que corresponde a un volumen con sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal.

Considerando que el área de la sección transversal del flujo de avenida es directamente proporcional al caudal en dicha sección, el volumen de almacenamiento asociado al prisma puede expresarse como KQ , donde K representa un coeficiente de proporcionalidad. Por su parte, el volumen de almacenamiento correspondiente a la cuña se define como $KX(1 - Q)$, siendo X un

factor de ponderación que se encuentra dentro del intervalo $0.10 \leq X \leq 0.50$. En consecuencia, el almacenamiento total se obtiene como la suma de ambos componentes.

Ilustración 3

Almacenamientos por prisma y cuña en un tramo de un canal



Nota: Imagen tomada de (Chow & Maidment, 1994)

Así como se menciona en el (Manual de utilización del programa HEC-HMS, 2008) realizado por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) están en cooperación con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, para el caso cuando no se tiene los datos de caudales de entrada se puede emplear las siguientes ecuaciones,

$$K = 0.18 * \left(\frac{\Delta x}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (1)$$

Donde:

Δx = distancia máxima (Kilómetros)

i = pendiente máxima de la subcuenca

Una formula alterna seria la siguiente,

$$K = 0.6 * Tc \quad (2)$$

Tc = tiempo de concentración del tramo

Además, estos parámetros deben cumplir la condición

$$\Delta t > 2 * K * X$$

2.2.8. Número de Curva del SCS

Este método, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, emplea el Número de Curva (CN, por sus siglas en inglés) como un parámetro empírico que integra factores como el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la condición de humedad antecedente del suelo (MC). Su principal aplicación es la estimación de la precipitación neta o en exceso (Pe) a partir de los datos de precipitación total (P) y las características de la cuenca, reflejadas en el CN. Este enfoque se basa en información recopilada de numerosas cuencas experimentales, permitiendo una aproximación confiable del escurrimiento generado por eventos de precipitación (Béjar, 2015)

Es un parámetro que depende de diversas propiedades de la cuenca que influyen en la generación de esorrentía. Entre estas, se incluyen: el tipo hidrológico de suelo, el uso y tratamiento de la tierra, y la condición previa de humedad. Este método se desarrolló a partir del análisis de registros de lluvia y esorrentía en periodos de 24 horas, por lo que no incorpora explícitamente la variación temporal de la esorrentía a lo largo del evento de precipitación (Villegas, 2017).

Con base en el tipo de suelo y el uso de tierra, Soil Conservation Service hizo una clasificación para el número de curva, se definieron los siguientes cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

La siguiente tabla presenta los valores de CN correspondientes a diversos tipos de uso del suelo y clases de suelo que se pueden presentar en un área. En el caso de una cuenca con diversos tipos de suelo se realiza un cálculo ponderado del valor del Número de Curva.

Tabla 1

Numero de curva para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada:				
sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Vegas de ríos:				
condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:				
troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
condiciones óptimas: cubierta de pasto más del 75%	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
condiciones deficientes: cubierta de pasto menos del 50%	68	79	86	89
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota: Tomado de (Chow & Maidment, 1994)

2.2.9. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) son una herramienta fundamental en la estimación de caudales de diseño, ya que permiten caracterizar los eventos extremos de precipitación en una región específica. Estas curvas representan la intensidad media de la lluvia en función de diferentes duraciones y periodos de retorno. Para su aplicación en un proyecto, es esencial verificar si existen curvas IDF para la zona de estudio. En caso de estar disponibles, deben ser evaluadas en términos de validez y confiabilidad. Si no se cuenta con ellas, es necesario generarlas a partir de registros históricos de precipitación (Ortiz-Higuera, 2015).

2.3. Marco Legal

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Pamplona, Norte de Santander en el que se analizan los usos urbanísticos del Municipio de Pamplona de acuerdo con tipos de usos comercial y de servicios, industrial, institucional o dotacional, de protección, residenciales, de uso recreacional y de áreas no construida.

Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) otorga la Autorización para Intervención de Recursos Naturales, Autorización de Vertimientos, Autorización para Afectación de Ecosistemas Estratégicos y valida la Licencia Ambiental que requieran nuevos proyectos con una invasión en la naturaleza.

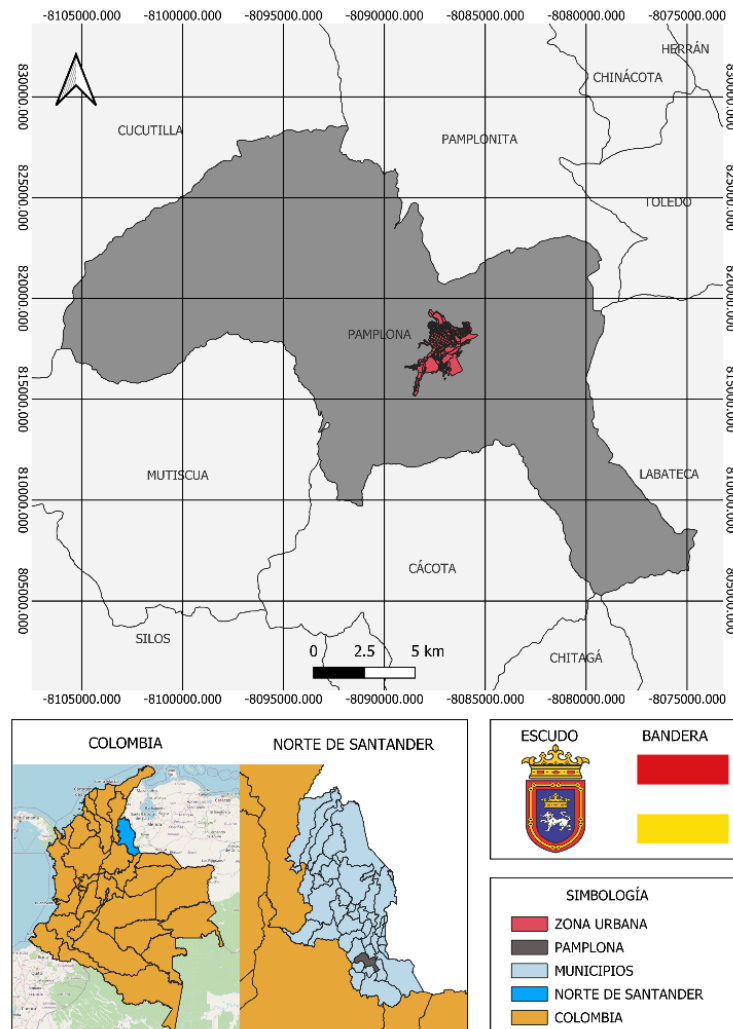
3. Marco Contextual

El municipio de Pamplona, ubicado en el departamento de Norte de Santander, Colombia, se encuentra en las coordenadas 72°39' de longitud oeste y 7°23' de latitud norte. A una altitud de aproximadamente 2.200 metros sobre el nivel del mar, limita al norte con Pamplonita y Cucutilla, al sur con Cácora y Mutiscua, al oriente con Labateca y al occidente nuevamente con Cucutilla. Su área urbana abarca alrededor de 59.214 km² y alberga una población estimada de 76.983 habitantes. Gracias a su ubicación en la cordillera Oriental de los Andes, Pamplona presenta un clima templado de montaña, con temperaturas que oscilan entre los 12°C y 18°C, características que influyen en su hidrología y régimen de precipitaciones, aspectos clave para la gestión del recurso hídrico y el análisis de riesgo de inundaciones en la región (Alcaldía Pamplona, s. f.).

Pamplona, ha emergido como un centro de progreso en diversos campos. Su crecimiento económico se refleja en la expansión industrial y comercial, impulsando empleo y desarrollo. Culturalmente, es reconocida por festivales y eventos que celebran sus tradiciones arraigadas. En educación, la ciudad ha fortalecido su oferta académica, atrayendo estudiantes de todo el país. Su belleza arquitectónica y entorno natural atraen turismo. Pamplona se erige como un ejemplo de transformación, destacando su potencial turístico, su desarrollo económico y su compromiso con la educación y la cultura.

Ilustración 4

Ubicación geográfica del municipio para el proyecto



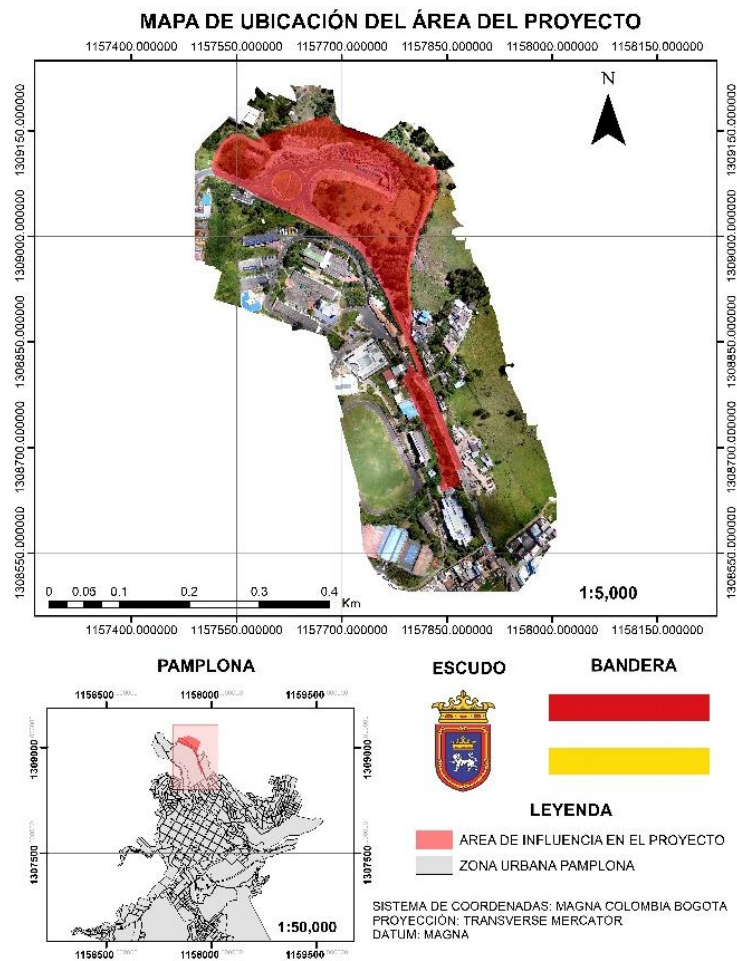
Nota: Imagen tomada de Qgis

Para el desarrollo del modelo hidrodinámico, se tomó en cuenta una superficie aproximada de 4.8914 hectáreas, comprendiendo el área desde la entrada del túnel hasta el bloque Simón Bolívar. En este análisis se consideraron también las zonas adyacentes que contribuyen con escorrentía hacia dicho bloque dentro de la Universidad de Pamplona. Esta delimitación permite evaluar con mayor precisión el comportamiento del flujo superficial, la acumulación de agua y su

posible impacto en la infraestructura universitaria, factores clave para la gestión del drenaje y la mitigación de riesgos por inundaciones en el campus.

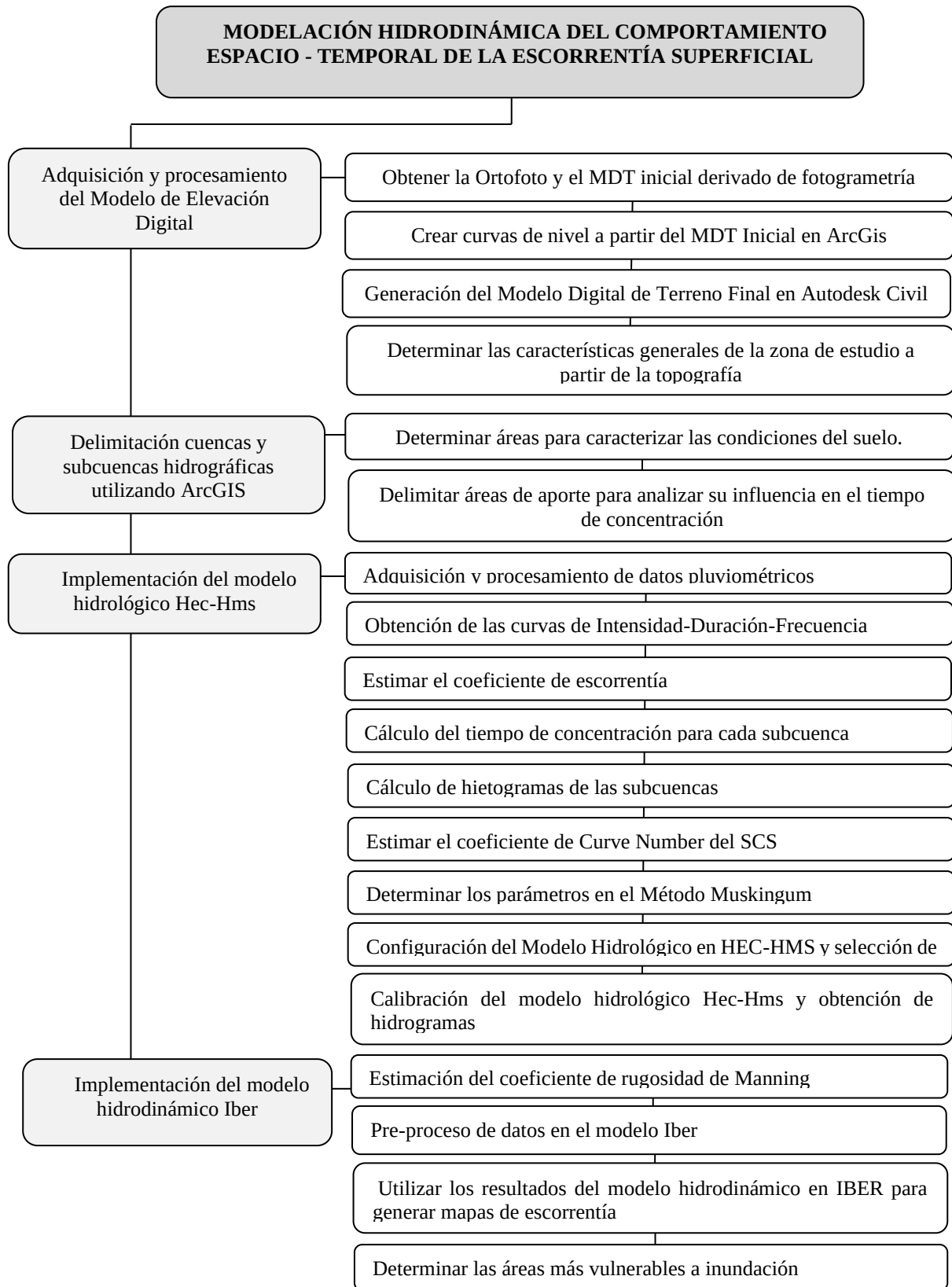
Ilustración 5

Ubicación de la zona de estudio para el proyecto



Nota: Imagen tomada de ArcGIS

4. Metodología



4.1. Adquisición y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)

4.1.1. Obtener la Ortofoto y el MDT inicial derivado de fotogrametría

Se realizó el sobrevuelo con un dron de referencia DJI Phantom 3 Profesional para el levantamiento topográfico de la zona, para lo cual se tuvo que diseñar el respectivo plan de vuelo, y se realizó la toma de las fotografías, las cuales posteriormente fueron procesadas en el software Agisoft Metashape Professional para obtener la ortofoto y el MDT inicial que posteriormente se le realizó unas correcciones a la superficie en el software AutoCAD Civil3D, empleando dimensiones tomadas en campo de las aceras, canales pluviales y drenajes transversales.

Ilustración 6

Evidencia del manejo del dron para la obtención de las fotografías



Nota: Evidencia del momento que se realizó el plan de vuelo para la obtención de las fotografías de la zona de estudio, como punto de base en las instalaciones de la universidad de pamplona

Para asegurar una mayor precisión en los datos topográficos obtenidos por el vuelo de dron fue necesario realizar un levantamiento utilizando la técnica de cinemática en tiempo real (RTK). Esta técnica resulta esencial en la creación de modelos digitales de terreno (MDT) de alta precisión, ya que permite corregir y ajustar los datos capturados por el dron. El uso de esta técnica del RTK suministra mayor exactitud en las coordenadas obtenidas, lo que garantiza que el modelo refleje las características del terreno de manera precisa, mejorando así la confiabilidad de los análisis topográficos en el desarrollo del proyecto.

Ilustración 7

Evidencia del manejo del dron para la obtención de las fotografías



Nota: Evidencia del uso del RTK en compañía de alumnos del Ingeniero Ing. Edier Alexander Atilua Bello pertenecientes al Instituto Superior de Educación Rural ISER

4.1.2. Crear curvas de nivel a partir del MDT Inicial en ArcGis

A partir del Modelo de Elevación de Terreno generado en Agisoft, se realizó la importación y procesamiento en ArcGIS para la generación de curvas de nivel, con el fin de representar de manera precisa la topografía del área de estudio. Durante este proceso, se llevó a cabo una

depuración del modelo, eliminando curvas de nivel que se presenten longitudes menores a 50 metros lo que significa que son áreas demasiado pequeñas o inconsistencias generadas por irregularidades en la interpolación del MDT. Para llevar a cabo este proceso, se emplearon herramientas de geoprocésamiento en ArcGIS, con el objetivo de filtrar y remover elementos innecesarios que pudieran generar imprecisiones en la representación del relieve. Adicionalmente, se aplicaron procesos de suavización y refinamiento mediante la herramienta “Suavizar Línea”, permitiendo mejorar la continuidad y coherencia de las curvas de nivel sin alterar la estructura general del modelo.

4.1.3. Generación del Modelo Digital de Terreno Final en Autodesk Civil 3D

Se realizó el ajuste de la superficie topográfica a partir de las curvas de nivel generadas en ArcGIS. Para mejorar la precisión del modelo y garantizar una representación detallada del terreno, se emplearon herramientas de líneas de rotura en Civil 3D. Estas líneas permitieron refinar la superficie incorporando datos recolectados en campo, tales como profundidades de los canales, alturas de las aceras y otros elementos presentes en el área del proyecto. Este ajuste fue fundamental para la modelación, asegurando una representación más realista del comportamiento del terreno y su influencia en el análisis hidráulico.

4.1.4. Determinar las características generales de la zona de estudio a partir de la topografía

A partir de las imágenes tomadas por el dron y visitas de campo se identificó características relevantes del terreno que pueda servir en el desarrollo del modelo, como el tipo de pendientes, patrones de drenaje naturales y artificiales, adicional se registró el estado actual del sistema de drenaje, identificando áreas con problemas de flujo de agua, obstrucciones o deterioro de infraestructuras.

4.2. Delimitación cuencas y subcuencas hidrográficas utilizando ArcGIS

4.2.1. Determinar áreas para caracterizar las condiciones del suelo.

Se realizó la delimitación y clasificación de las áreas de cobertura del suelo utilizando las herramientas de geoprocésamiento en ArcGIS. A partir de este análisis, se generalizaron los usos del suelo en ocho categorías principales: vegetación baja, media y alta; áreas sin vegetación; concreto para estabilización del talud en la entrada del túnel; zonas de drenaje con grava; construcciones; aceras en concreto hidráulico; pavimento asfáltico; y superficies en concreto hidráulico destinadas para canales de drenaje pluvial.

Esta delimitación se efectuó lo más precisa posible, ya que influye directamente en la estimación de la escorrentía superficial, el tiempo de concentración y la respuesta hidrológica del terreno frente a eventos de precipitación. Una correcta caracterización del uso del suelo permite identificar zonas con mayor o menor infiltración, coeficientes de escorrentía, lo que impacta en la modelación hidrodinámica para evaluar riesgos de inundación en la zona de estudio.

4.2.2. Delimitar áreas de aporte para analizar su influencia en el tiempo de concentración

Se delimitaron las áreas de aporte utilizando las herramientas en ArcGIS, con base en la topografía y el ajuste del Modelo Digital del Terreno (MDT) en Civil 3D. Este análisis permitió definir con mayor precisión el comportamiento del flujo en la zona de estudio, identificando la distribución de las escorrentías y su dirección natural. Una delimitación adecuada de las áreas de aporte es fundamental para la correcta estimación del tiempo de concentración, ya que este parámetro influye directamente en la respuesta hidrológica de la cuenca frente a eventos de precipitación.

4.3. Implementación del modelo hidrológico Hec-Hms

4.3.1. Adquisición y procesamiento de datos pluviométricos

El IDEAM es el propietario de todos los derechos de propiedad intelectual del sitio bajo el dominio de <http://dhime.ideam.gov.co/> de donde se hará la descarga de datos pluviométricos como la precipitación total mensual en un periodo de 52 años desde enero del 1973 hasta diciembre del 2024 teniendo de referencia la estación identificada con el código 16015020 de nombre ISER PAMPLONA.

Tabla 2
Datos de precipitación mensual multianual

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Valor total anual
1973	16	7.4	16.7	115.5	46.5	47.1	51.1	88.6	103.9	86.1	139.3	37.2	755.4
1974	38	55.9	56.3	101.6	133.8	29.6	40.3	19.3	115.2	98.9	117.3	0.4	806.6
1975	12.2	37	107.7	170.9	110.6	60.3	43.7	51.8	88.6	135.8	153.6	158.9	1131.1
1976	28.6	64.8		186.1	39.2	65.3	54.9	29.4	53.1	180.3	110.2	32.9	844.8
1977	2.9	1.6	62.4	58	75.2	86.4	61.8	33.5	56.4	100	65.3	0.4	603.9
1978	0.8	19.4	107.2	152.9	60.8	97.2	44.4	70.1	55.2	101.9	42.6	20.9	773.4
1979	29.4	6.9	52.2	144.2	144.8	205.6	54.3	51	57.6	204.2	201.4	65.3	1216.9
1980	58.6	36.5	31.7	78.6	87.1	79	49.6	70.6	93.3	59.4	86.9	50.5	781.8
1981	4.1	23.8	35.1	288.1	340.1	46.8	51.1	101.2	121.1	172.1	39.4	9.5	1232.4
1982	51	60.2	113.8	356.6	86.7	42.4	39.1	29.2	81.1	116	76.2	25.6	1077.9
1983	7.4	17	69.1	233.7	148.2	85.4	80	60	56.4	78.9	5.3	28.8	870.2
1984	32	9.1	13.5	102.9	99.7	47.2	60.1	117.6	135.5	134.1	112.3	23	887
1985	27.2	12.5	91.9	94.2	129.5	99.1	59	77.9	109.2	204.2	91.4	85.1	1081.2
1986	33.6	61.2	55.2	94	131.6	104.5	18.3	35.6	160.7	193.5	59.4	25.7	973.3
1987	12.3	1.6	122.2	48.4	164.7	18.8	48.3	43.9	90.3	267.4	104.8	9.2	931.9
1988	21.2	36.9	17.6	45.9	33.7	84.9	73.9	192	132.6	163.5	182.9	60	1045.1
1989	21	39.2	174.9	16.8	109	45.7	39.9	31.3	114.4	60.7	58.3	81	792.2
1990	8.2	92.3	55	206.1	84.7	91.2	64.9	74.7	39.2	251.7	58	107.4	1133.4
1991	16.1	29.8	126.4	104.4	53	39.3	52.3	56.4	94.2	67.6	114.3	34.3	788.1
1992	10.8	19	1.7	75.9	37	54.2	62.2	58.6	62.2	57.2	120.2	20.9	579.9
1993	36.4	34.5	31.8	91.4	213.3	55	33.3	32.9	161.6	55.8	187.1	8.8	941.9
1994	45.3	45.3	78.9	98	73.5	36.4	35.2	22.6	104.7	130	58.4	17.8	746.1
1995	35.8	21.5	87.7	89.2	87.7	80.9	44.7	143.7	92.8	154.5		92.9	931.4
1996	53.6	52.7	43.2	64.5	116.1	133.8	104.2	80.9	75.9	187.4	131.1	38.8	1082.2
1997	43.2	18.2	31.9	37.9	41.2	56.6	36.6	26.4	45.2	63.2	38.1	7.3	445.8
1998	3.5	24	49.7	69.5	83.9	74.6	77.6	68.2	137.2	114.9	109.3	138.8	951.2
1999	59.2	102.1	33.2	190.8	41.2	74.2	37.3	107.4	105.2	156.9	126.8	64	1098.3
2000	89.5	82.5	92.5	51	50.3	56.1	58.7	36.8	143.1	129.6	85.5	25.1	900.7
2001	0.6	33.4	42.5	35.6	38.4	31.5	47.5	35	133.2	119.8	42.8	70.1	630.4
2002	25.7	23.9	52.6	129.5	97.9	62.4	41.9	26.1	115.4	142.5	12.3	6.3	736.5
2003	2.4	20.7	132.7	106.7	17.8	109.1	72.2	35.4	48	170.3	91.1	82	888.4
2004	21	49.8	26.4	213.2	107.4	71.1	34	49.7	122	78.6	121.1	34.6	928.9
2005	62	58.4	5.3	69.4	170.6	88.9	34.6	25.1	123.5	172.6	182.8	5.3	998.5
2006	56.6	11.5	156.7	147.1	123.3	66.2	48.7	90.2	67.6	168	41.5	17.8	995.2
2007	13.8	25.1	64.3	41.3	39.1	62.6	38.6	130.7	20.7	182.9	78.5	15.6	713.2
2008	77	45.5	39.8	102.9	210.8	47.4	127.9	195.6	125.9	199.1	212.1	15	1399
2009	79.6	29.1	71.7	26.2	113	37.9	71.6	23.1	25	98.4	92.9	1.9	670.4
2010	3.6	18.1	15.3	166.6	144.9	162	168.6	59.4	237.8	159	163.2	95.9	1394.4
2011	14.1	66.2	155.8	400.1	223	109.7	42.8	92.3	99.9	108.3	196.7	83.3	1592.2
2012	30.6	10.6	154.9	284.6	85.7	44.9	47.4	101.2	47.4	280	56.8	2.7	1146.8
2013	27.4	34.8	13.2	168.6	92.6	54.5	37.2	115.3	58.5	22.3	80.5	31.7	736.6
2014	15	36.5	44.5	55.3	182	29.4	43.8	23.4	45.3	92.2	63.3	16.6	647.3
2015	26.2	17.2	91.6	72.5	46.3	68.8	75.1	41.2	42.5	48.9	118.3	29.8	678.4
2016	5.9	17.9	24.6	157.8	142.2	62.1	39.4	38.9	72.3	132	198.1	17	908.2
2017	22.9	34	149.1	92.2	114.4	130.8	60.3	96.3	49.2	54.4	155.7	62	1021.3
2018	45	13.9	105.9	132.5	55.2	66.1	68.3	69.7	119.4	229.7	61.2	0.7	967.6
2019	28.1	8.5	55.1	95.2	108.6	76.9	37.1	35.8	109.1	95.9	94.5	16.6	761.4
2020	17.7	17.3	35.4		26.9	98.7	54.7	91.7	121.3	93.7	282.1	16.8	856.3
2021	28.4	57.9	92.4	66.6	129.2	83.6	49.7	139.1	78.6	130.6	31.5	15.5	903.1
2022	18.8	54.2	55.7	128	162.8	115.1	74.6	96.9	121.3	178.2	200.9	11	1217.5
2023	47.2	12.3	93.6	162.1	151	52	76	48.1	39.7	127.4	138.1	36.5	984
2024	1.3	42.1	18.9	160.6	47.6	85	51.5	51.3	88.8	66.8	148.7	5.2	767.8
Mínimo	0.6	1.6	1.7	16.8	17.8	18.8	18.3	19.3	20.7	22.3	5.3	0.4	445.8
Medio	28.25	33.69	67.79	125.13	104.88	73.35	56.16	67.75	92.28	132.26	108.63	37.70	922.07
Máximo	89.5	102.1	174.9	400.1	340.1	205.6	168.6	195.6	237.8	280	282.1	158.9	1592.2

Nota: Datos descargados del IDEAM muestra el registro de 52 años de la estación ISER PAMPLONA

Debido a que se presentan datos faltantes en los registros consultados de precipitación, fue necesario emplear el método de promedio anual para completar la información ausente. Este enfoque es adecuado cuando la cantidad de datos faltantes es mínima y está distribuida en una serie de tiempo extensa, ya que permite obtener una estimación representativa sin alterar significativamente las tendencias generales. Además, al aplicarse en registros con variaciones moderadas entre años, se minimiza el riesgo de distorsionar los resultados.

4.3.2. Obtención de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

La elaboración de las curvas IDF mediante el método simplificado requiere contar con datos pluviométricos de precipitación máxima en 24 horas a escala anual. Para este estudio, se utilizó la información registrada en la estación ISER PAMPLONA, permitiendo el análisis de las precipitaciones durante un período de 52 años. El método simplificado se basa en el ajuste de estos valores a distribuciones probabilísticas que representan el comportamiento de las lluvias extremas. Adicionalmente, el método emplea parámetros regionalizados, los cuales son fundamentales en la Ecuación (3) utilizada para calcular la intensidad de precipitación en mm/h.

Expresión que será empleada en el método simplificado,

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c} \quad (3)$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)

T: Periodo de retorno, en años

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, en minutos

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión

Tabla 3

Valores regionalizados para la ecuación del método simplificado

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Nota: Tomado del artículo de (Vargas & Díaz-Granados, 1998)

Ilustración 8

Regionalización definida en el método simplificado



Nota: Tomado del artículo de (Vargas & Díaz-Granados, 1998)

El IDEAM proporciona las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia debido que, en el año 2016, a través de la Subdirección de Hidrología, actualizó las curvas IDF de 110 estaciones utilizando datos recopilados hasta el año 2010. Dentro de este conjunto de estaciones se encuentra la estación ISER PAMPLONA, cuya curva IDF fue descargada y posteriormente comparada con la obtenida mediante el método simplificado.

4.3.3. Estimar el coeficiente de escorrentía

Con base en las áreas delimitadas de las subcuencas, se realizó la identificación y cuantificación de las distintas coberturas presentes en cada una. Posteriormente, se asignaron los valores correspondientes de coeficiente de escorrentía según lo establecido en tablas de referencia. En los casos donde se identificaron múltiples coberturas dentro una misma subcuenca, se aplicó la Ecuación (4) del coeficiente ponderado para obtener un valor representativo del comportamiento hidrológico de la zona.

$$\hat{C} = \frac{\sum C_i * A_i}{\sum A_i} \quad (4)$$

4.3.4. Cálculo del tiempo de concentración para cada subcuenca

El método seleccionado para este proyecto es el propuesto por la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés), el cual estima el tiempo de concentración en función de la longitud del flujo superficial, la pendiente del terreno y el coeficiente de escorrentía. Este enfoque es particularmente adecuado para áreas urbanas o desarrolladas, donde las características del terreno y la cobertura del suelo influyen significativamente en la respuesta hidrológica. La fórmula de la FAA para calcular el tiempo de concentración (Tc) se expresa como:

$$T_c = \frac{0.7024 * (1.1 - C) * L^{0.5}}{S^{0.333}} \quad (5)$$

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

C: Coeficiente de escorrentía del Método racional (adimensional)

L: Longitud de flujo superficial (metros)

S: Pendiente de la superficie (m/m)

4.3.5. Cálculo de hietogramas de las subcuencas

El método de bloques alternos es una técnica utilizada para la construcción de hietogramas de diseño a partir de la información proporcionada por las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF). Este procedimiento permite distribuir la precipitación acumulada en distintos periodos de tiempo consecutivos, asegurando una representación adecuada de la variabilidad temporal de un evento de lluvia. La metodología establece que la precipitación más intensa se sitúa en el centro del evento, y a partir de allí se redistribuyen los valores en intervalos sucesivos, de manera que se refleje el comportamiento típico de una tormenta de diseño (Chow & Maidment, 1994).

Para la determinación de la intensidad máxima requerida en este método, se aplicó la ecuación establecida en el método simplificado. Se definieron intervalos de un minuto, tomando como referencia los tiempos de concentración previamente calculados para cada subcuenca mediante el método de la Administración Federal de Aviación (FAA). A partir de estos valores, se generaron hietogramas de diseño correspondientes a periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, permitiendo así una representación adecuada de la distribución temporal de la precipitación en la zona de estudio.

4.3.6. Estimar el coeficiente de Curve Number del SCS

Dentro de los métodos de pérdida que dispone HEC-HMS, se empleará el del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). Para su aplicación, es necesario determinar el Número de Curva (CN), el cual está asociado a un tipo de cobertura del suelo y, a su vez, a un grupo hidrológico que depende de las características del terreno.

Con el fin de obtener la información sobre el tipo de suelo que se presenta en el área del proyecto, se recurrió al geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde se descargaron los mapas de suelos en formato shapefile del departamento de Norte de Santander.

4.3.7. Determinar los parámetros en el Método Muskingum

En este caso, fue necesario determinar los parámetros K y X. El valor de K se estimó como el 60% del tiempo de concentración, calculado mediante la ecuación de la FAA a lo largo del tramo, debido a la ausencia de datos históricos de crecidas. Por su parte, el valor de X se consideró un valor adecuado teniendo presente las características del canal. (Chow & Maidment, 1994)

4.3.8. Configuración del Modelo Hidrológico en HEC-HMS y selección de métodos de cálculo

En el software, el primer paso fue la incorporación de los mapas al modelo. El archivo correspondiente a las subcuencas está en formato shapefile; si bien este archivo no influye directamente en los cálculos del modelo hidrológico, resulta fundamental para la correcta visualización y delimitación de cada una de las subcuencas, facilitando así el análisis y la interpretación de los resultados.

Además, se incorporaron los datos correspondientes a cada componente del modelo. En el caso de la Subcuenca (Subbasin), se incluyó el área en km^2 de las subcuencas y se seleccionó el método de pérdidas para representar la infiltración de la lluvia en el terreno, optando por el Número de Curva del SCS. Para la transformación de la precipitación, se utilizó el método del Hidrograma Unitario del SCS. En cuanto a la Unión (Junction), se estableció la conexión del flujo hacia aguas abajo. Para el tramo (Reach), se seleccionó el método de Muskingum como técnica de tránsito hidrológico.

4.3.9. Calibración del modelo hidrológico Hec-Hms y obtención de hidrogramas

Se llevó a cabo un cálculo detallado de las variables involucradas en cada uno de los métodos aplicados dentro del modelo hidrológico en HEC-HMS, considerando herramientas como Subbasin Creation Tool, Reach Creation Tool y Junction Creation Tool. Posteriormente, se verificó la coherencia de los resultados obtenidos con las características físicas e hidrológicas de la zona de estudio, asegurando una representación precisa de la dinámica del escurrimiento superficial. Como resultado, se generaron hidrogramas calibrados que permiten analizar el comportamiento del caudal asociado a eventos de precipitación en función del tiempo. Estos hidrogramas serán posteriormente incorporados en el software IBER para evaluar su impacto en el flujo hidráulico de la red de drenaje modelada.

4.4. Implementación del modelo hidrodinámico Iber

4.4.1. Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

A partir de la delimitación y clasificación de las condiciones del suelo establecidas en el apartado 4.2.1, se identificaron distintos tipos de cobertura, entre ellos: áreas con vegetación; áreas sin vegetación; concreto empleado para la estabilización del talud en la entrada del túnel; zonas de drenaje con grava; construcciones; aceras en concreto hidráulico; pavimento asfáltico; y superficies en concreto hidráulico destinadas al drenaje pluvial. Con base en esta categorización, se llevó a cabo una reclasificación siguiendo los criterios definidos en la tabla de (French, 1988), permitiendo así la correcta asignación de los valores del coeficiente de rugosidad.

4.4.2. Pre-proceso de datos en el modelo Iber

Para generar la simulación en Iber es necesario hacer un preproceso el cual consiste en la configuración de los datos necesarios para desarrollar el modelo hidráulico. Esto incluye la importación de la geometría del modelo, asignación de las condiciones de contorno y definir las características del terreno, se debe asegurar que los archivos importados sean compatibles con el software.

Para la importación de la geometría en Iber, fue necesario convertir los datos de delimitación de los usos del suelo, definidos previamente en la sección 4.2.1, del formato .shp de ArcGIS a .dxf mediante AutoCAD, garantizando así la compatibilidad con el software. Una vez importados los archivos, se integraron al modelo hidráulico y, con base en esta delimitación, se generaron las superficies correspondientes por método NURBS, seguido de la creación de un mallado no estructurado con un tamaño óptimo para el desempeño en la simulación. Finalmente, para dar la elevación a la malla fue necesario agregar el MDT en formato .tiff.

En lo relacionado con las características del terreno asociadas a la rugosidad, fue necesario definir los diferentes usos del suelo junto con sus respectivos valores de rugosidad, conforme a lo establecido en la sección 4.4.1. Una vez definidos, se procedió a seleccionar cuidadosamente las superficies, para asignarles de forma adecuada los usos de suelo correspondientes, garantizando así una correcta representación del comportamiento hidráulico del terreno durante la simulación.

En la asignación de las condiciones de contorno se realizó seleccionando el régimen del flujo, seguido de ser asignando los hidrogramas de entrada generados en HEC-HMS para cada periodo de retorno y ubicando sus respectivos puntos de salida, para de esta manera completar la hidrodinámica en el modelo.

4.4.3. Utilizar los resultados del modelo hidrodinámico de IBER para generar mapas de escorrentía

En la sección de postproceso donde se puede dar la visualización de los resultados, se priorizo en identificar los parámetros que más inciden en la presencia de peligrosidad y riesgo por inundación. En el caso específico de la peligrosidad, se han considerado como variables principales la profundidad del agua (calado) y la velocidad del flujo. Esto por medio de las áreas coloreadas que se pueden ajustar la escala permitiendo una mejor interpretación de los datos en cada mapa generado de acuerdo con el tiempo de retorno.

4.4.4. Determinar las áreas más vulnerables a inundación

En esta etapa se analizaron en detalle las zonas de más importancia dentro del área de estudio, a partir de la interpretación espacial de los resultados obtenidos. Se tuvo en cuenta la extensión superficial de la acumulación de agua y su localización en relación con la infraestructura vial y peatonal del campus, prestando especial atención al tramo comprendido entre la entrada de la universidad y el entorno del parqueadero del bloque SB. Esta identificación permitió reconocer los puntos críticos de concentración de escorrentía y el comportamiento del flujo, lo que facilitó una evaluación más precisa del grado de afectación y la priorización de futuras intervenciones.

5. Resultados

5.1. Adquisición y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)

5.1.1. Obtención de Ortofoto y MDT Inicial derivado de la fotogrametría

Se generó una ortofoto georreferenciada y un Modelo Digital de terreno, ambos con una resolución adecuada para representar con precisión la topografía de la zona de estudio. La ortofoto ofrece una visualización clara de la superficie terrestre, útil para identificar elementos relevantes del terreno.

Ilustración 9

Clasificación de los tipos de zonas y ubicación de los puntos por RTK



Nota: Proceso desarrollado en el software Agisoft Metashape Professional para clasificar el tipo de suelo de vegetación alta (verde claro), media (verde) y baja (verde oscuro); pavimento (negro), canales de drenaje (marfil), construcciones (naranja), concreto (celeste) y zona que no interviene en el estudio (gris) y ubicación de los puntos obtenidos por RTK.

Ilustración 10

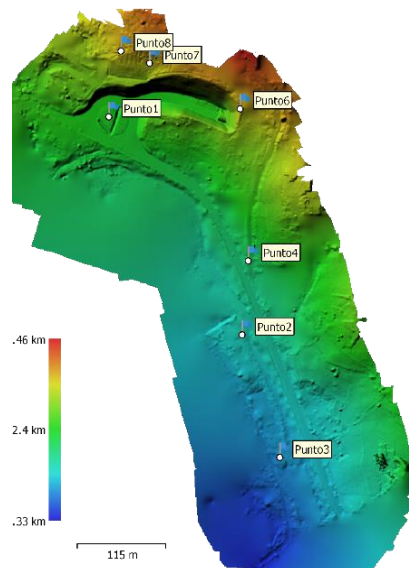
Ortofoto del área del proyecto



Nota: Ortomosaico generado por software Agisoft Metashape Professional

Ilustración 11

MDT Inicial del área del proyecto



Nota: Imagen generada por software Agisoft Metashape Professional representando la variación de altura mayor (rojo) a la más baja (azul)

5.1.2. Creación de curvas de nivel a partir del MDT en ArcGis

Las curvas de nivel, previamente procesadas a partir del Modelo de Digital de Terreno, fueron exportadas en formato DWG para su posterior procesamiento y análisis en Civil 3D.

Ilustración 12

Curvas de nivel a partir del MDT



Nota: Curvas de nivel generadas en ArcGIS con intervalo de 0.50 metros

5.1.3. Generación del Modelo Digital de Terreno (MDT) en Autodesk Civil 3D

Una vez finalizado el proceso de ajuste de la superficie, con el objetivo de representar con precisión las características topográficas reales del terreno, se procedió a exportar el MDT en formato TIFF, para su posterior incorporación en las etapas de modelación hidráulica.

Modelo Digital de Terreno del área del proyecto

Nota: MDT generado desde AutoCAD Civil3D

5.1.4. Análisis de las características generales de la zona de estudio a partir de la topografía

Se evidenció que la zona ha experimentado un cambio significativo en la topografía y la cobertura del suelo desde inicios del año 2019 hasta la actualidad, como consecuencia de la construcción del túnel en dirección a Cúcuta. Esto ha generado un relieve con un alto porcentaje de pendiente en dicha área específica. Además, se llevó a cabo un proceso de estabilización del talud, lo que ha incrementado la impermeabilización del terreno. En cuanto al sistema de drenaje, se observó que los canales se encuentran despejados; sin embargo, algunos pozos destinados al drenaje transversal presentan obstrucciones, ya que contienen un nivel medio de acumulación de agua.

Ilustración 14

Comparación de la zona estudio a partir de imágenes aéreas



Nota: Imagen obtenida de Google Earth de febrero del año 2019 (Izquierda), Ortomosaico de fotografías tomadas en julio del año 2024 (Derecha)

5.2. Delimitación cuencas y subcuencas hidrográficas utilizando ArcGIS

5.2.1. Identificación áreas para caracterizar las condiciones del suelo.

La zona del proyecto presenta diferentes tipos de cobertura, en las que podemos encontrar área con vegetación baja, media y alta con 2.6185 Ha corresponde al 53.6% del área total, áreas sin vegetación con 0.0898 Ha (1.84%), superficie en concreto para estabilización del talud en la entrada del túnel 0.765 Ha (15.66%), zona de drenaje empleando grava con 0.1078 Ha (2.21%), área de construcciones con 0.058 Ha (1.19%), zonas de aceras en concreto hidráulico 0.1603 Ha (3.28%), pavimento asfáltico con 0.9243 Ha (18.92%) y área en concreto hidráulico destinado para canales de drenaje pluvial con 0.1645 Ha (3,37%).

Ilustración 15
Clasificación de áreas por cobertura de suelo



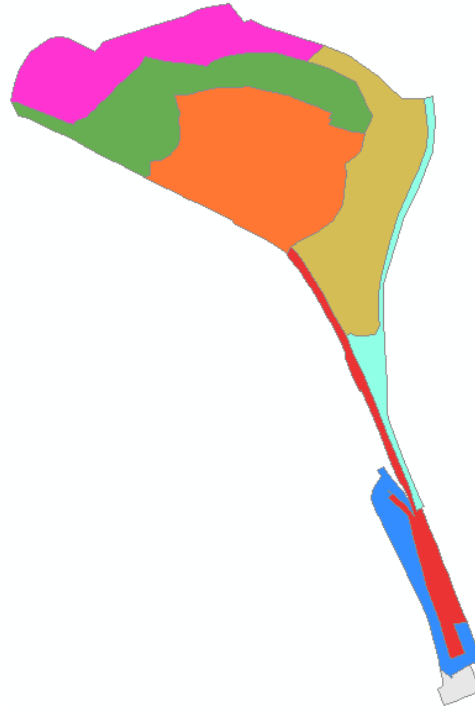
Nota: Delimitación realizada en ArcGIS, el área con vegetación baja, media y alta (verde), áreas sin vegetación (amarillo), superficie en concreto para estabilización del talud en la entrada del túnel (rosado oscuro), zona de drenaje empleando grava (rosado claro), área de construcciones (azul), zonas de aceras en concreto hidráulico (gris), pavimento asfáltico (negro) y área en concreto hidráulico destinado para canales de drenaje pluvial (rojo).

5.2.2. Definición áreas de aporte para analizar su influencia en el tiempo de concentración

Con el propósito de analizar la influencia de las áreas de aporte en el tiempo de concentración, se delimitaron 7 subcuencas dentro de la zona de estudio. Para ello, se utilizaron herramientas de geoprocésamiento en ArcGIS, basadas en el Modelo Digital del Terreno (MDT), lo que permitió identificar adecuadamente las divisorias hidrográficas y la dirección del flujo superficial.

Ilustración 16

Delimitación de las subcuencas por dirección de flujo



Nota: Delimitación realizada en ArcGIS

Tabla 4

Valor de las áreas de las subcuencas delimitadas

Subcuencas	Área Total (Ha)
Sub-1	0.8173
Sub-2	0.9217
Sub-3	1.3139
Sub-4	0.9841
Sub-5	0.2294
Sub-6	0.2537
Sub-7	0.3154

Nota: Elaboración propia

5.3. Implementación y análisis del modelo hidrológico Hec-Hms

5.3.1. Adquisición y procesamiento de datos pluviométricos

Utilizando el método de promedio anual para estimar datos faltantes, se calcularon los valores de precipitación en distintos períodos. Como resultado, se obtuvo una precipitación de 67.79 mm en marzo de 1976, 108.63 mm en noviembre de 1995 y 125.13 mm en abril de 2020. Estos valores permiten complementar el análisis climático y mejorar la continuidad de los registros históricos.

Tabla 5
Datos de precipitación mensual anual completos

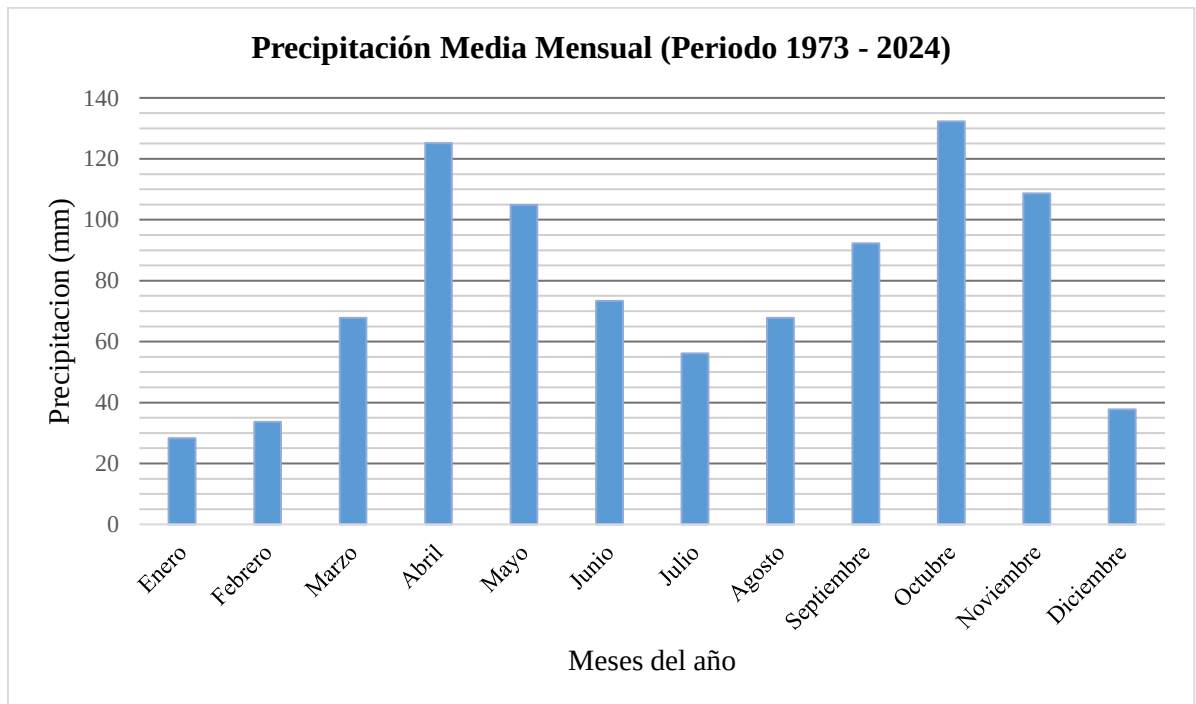
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septi	Octubre	Novi	Dici
1973	16.00	7.40	16.70	115.50	46.50	47.10	51.10	88.60	103.90	86.10	139.30	37.20
1974	38.00	55.90	56.30	101.60	133.80	29.60	40.30	19.30	115.20	98.90	117.30	0.40
1975	12.20	37.00	107.70	170.90	110.60	60.30	43.70	51.80	88.60	135.80	153.60	158.90
1976	28.60	64.80	67.79	186.10	39.20	65.30	54.90	29.40	53.10	180.30	110.20	32.90
1977	2.90	1.60	62.40	58.00	75.20	86.40	61.80	33.50	56.40	100.00	65.30	0.40
1978	0.80	19.40	107.20	152.90	60.80	97.20	44.40	70.10	55.20	101.90	42.60	20.90
1979	29.40	6.90	52.20	144.20	144.80	205.60	54.30	51.00	57.60	204.20	201.40	65.30
1980	58.60	36.50	31.70	78.60	87.10	79.00	49.60	70.60	93.30	59.40	86.90	50.50
1981	4.10	23.80	35.10	288.10	340.10	46.80	51.10	101.20	121.10	172.10	39.40	9.50
1982	51.00	60.20	113.80	356.60	86.70	42.40	39.10	29.20	81.10	116.00	76.20	25.60
1983	7.40	17.00	69.10	233.70	148.20	85.40	80.00	60.00	56.40	78.90	5.30	28.80
1984	32.00	9.10	13.50	102.90	99.70	47.20	60.10	117.60	135.50	134.10	112.30	23.00
1985	27.20	12.50	91.90	94.20	129.50	99.10	59.00	77.90	109.20	204.20	91.40	85.10
1986	33.60	61.20	55.20	94.00	131.60	104.50	18.30	35.60	160.70	193.50	59.40	25.70
1987	12.30	1.60	122.20	48.40	164.70	18.80	48.30	43.90	90.30	267.40	104.80	9.20
1988	21.20	36.90	17.60	45.90	33.70	84.90	73.90	192.00	132.60	163.50	182.90	60.00
1989	21.00	39.20	174.90	16.80	109.00	45.70	39.90	31.30	114.40	60.70	58.30	81.00
1990	8.20	92.30	55.00	206.10	84.70	91.20	64.90	74.70	39.20	251.70	58.00	107.40
1991	16.10	29.80	126.40	104.40	53.00	39.30	52.30	56.40	94.20	67.60	114.30	34.30
1992	10.80	19.00	1.70	75.90	37.00	54.20	62.20	58.60	62.20	57.20	120.20	20.90
1993	36.40	34.50	31.80	91.40	213.30	55.00	33.30	32.90	161.60	55.80	187.10	8.80
1994	45.30	45.30	78.90	98.00	73.50	36.40	35.20	22.60	104.70	130.00	58.40	17.80
1995	35.80	21.50	87.70	89.20	87.70	80.90	44.70	143.70	92.80	154.50	108.63	92.90
1996	53.60	52.70	43.20	64.50	116.10	133.80	104.20	80.90	75.90	187.40	131.10	38.80
1997	43.20	18.20	31.90	37.90	41.20	56.60	36.60	26.40	45.20	63.20	38.10	7.30
1998	3.50	24.00	49.70	69.50	83.90	74.60	77.60	68.20	137.20	114.90	109.30	138.80
1999	59.20	102.10	33.20	190.80	41.20	74.20	37.30	107.40	105.20	156.90	126.80	64.00
2000	89.50	82.50	92.50	51.00	50.30	56.10	58.70	36.80	143.10	129.60	85.50	25.10
2001	0.60	33.40	42.50	35.60	38.40	31.50	47.50	35.00	133.20	119.80	42.80	70.10
2002	25.70	23.90	52.60	129.50	97.90	62.40	41.90	26.10	115.40	142.50	12.30	6.30
2003	2.40	20.70	132.70	106.70	17.80	109.10	72.20	35.40	48.00	170.30	91.10	82.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septi	Octubre	Novi	Dici
2004	21.00	49.80	26.40	213.20	107.40	71.10	34.00	49.70	122.00	78.60	121.10	34.60
2005	62.00	58.40	5.30	69.40	170.60	88.90	34.60	25.10	123.50	172.60	182.80	5.30
2006	56.60	11.50	156.70	147.10	123.30	66.20	48.70	90.20	67.60	168.00	41.50	17.80
2007	13.80	25.10	64.30	41.30	39.10	62.60	38.60	130.70	20.70	182.90	78.50	15.60
2008	77.00	45.50	39.80	102.90	210.80	47.40	127.90	195.60	125.90	199.10	212.10	15.00
2009	79.60	29.10	71.70	26.20	113.00	37.90	71.60	23.10	25.00	98.40	92.90	1.90
2010	3.60	18.10	15.30	166.60	144.90	162.00	168.60	59.40	237.80	159.00	163.20	95.90
2011	14.10	66.20	155.80	400.10	223.00	109.70	42.80	92.30	99.90	108.30	196.70	83.30
2012	30.60	10.60	154.90	284.60	85.70	44.90	47.40	101.20	47.40	280.00	56.80	2.70
2013	27.40	34.80	13.20	168.60	92.60	54.50	37.20	115.30	58.50	22.30	80.50	31.70
2014	15.00	36.50	44.50	55.30	182.00	29.40	43.80	23.40	45.30	92.20	63.30	16.60
2015	26.20	17.20	91.60	72.50	46.30	68.80	75.10	41.20	42.50	48.90	118.30	29.80
2016	5.90	17.90	24.60	157.80	142.20	62.10	39.40	38.90	72.30	132.00	198.10	17.00
2017	22.90	34.00	149.10	92.20	114.40	130.80	60.30	96.30	49.20	54.40	155.70	62.00
2018	45.00	13.90	105.90	132.50	55.20	66.10	68.30	69.70	119.40	229.70	61.20	0.70
2019	28.10	8.50	55.10	95.20	108.60	76.90	37.10	35.80	109.10	95.90	94.50	16.60
2020	17.70	17.30	35.40	125.13	26.90	98.70	54.70	91.70	121.30	93.70	282.10	16.80
2021	28.40	57.90	92.40	66.60	129.20	83.60	49.70	139.10	78.60	130.60	31.50	15.50
2022	18.80	54.20	55.70	128.00	162.80	115.10	74.60	96.90	121.30	178.20	200.90	11.00
2023	47.20	12.30	93.60	162.10	151.00	52.00	76.00	48.10	39.70	127.40	138.10	36.50
2024	1.30	42.10	18.90	160.60	47.60	85.00	51.50	51.30	88.80	66.80	148.70	5.20
Mínimo	0.60	1.60	1.70	16.80	17.80	18.80	18.30	19.30	20.70	22.30	5.30	0.40
Medio	28.25	33.69	67.79	125.13	104.88	73.35	56.16	67.75	92.28	132.26	108.63	37.70
Máximo	89.50	102.10	174.90	400.10	340.10	205.60	168.60	195.60	237.80	280.00	282.10	158.90

Nota: Elaboración propia

Con los datos completos, el análisis mediante una gráfica de barras permite identificar los meses con mayores y menores precipitaciones a lo largo de un período de 52 años. Se observa que los meses con las precipitaciones más altas, según la media mensual, son octubre (132.26 mm) y abril (123.13 mm), seguidos por noviembre y mayo. En contraste, los meses con menor precipitación son diciembre (37.70 mm), enero (28.25 mm) y febrero (33.69 mm).

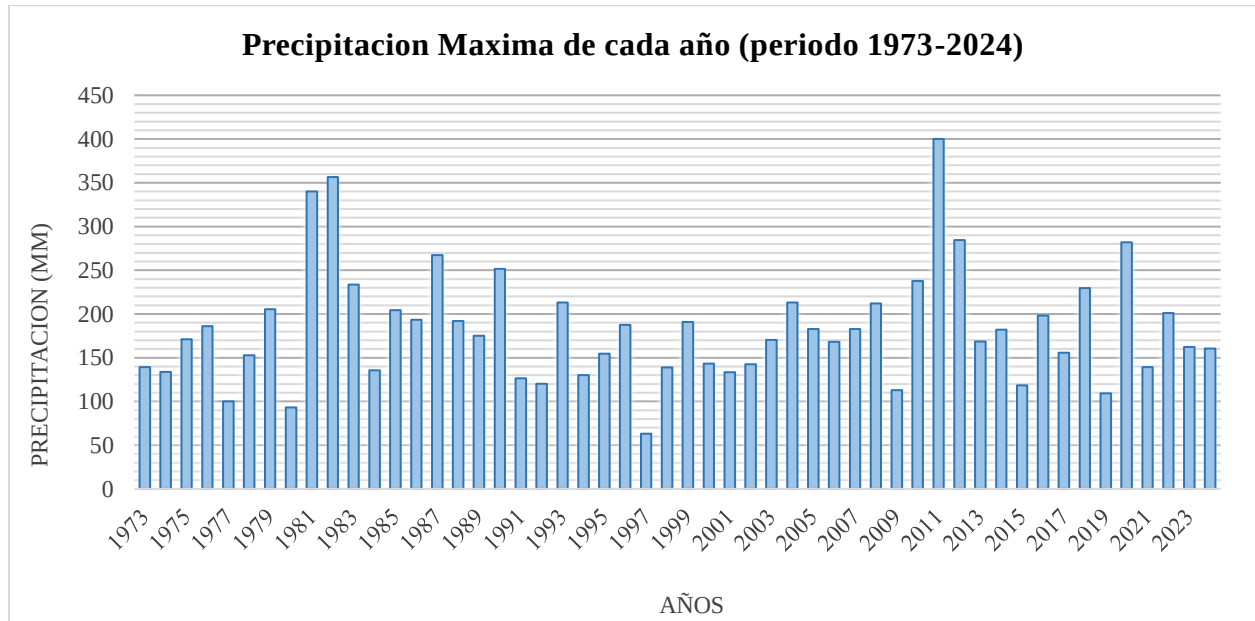
Ilustración 17
Precipitación media mensual



Nota: Elaboración propia

Además, es posible realizar un análisis anual para evaluar el comportamiento de la precipitación máxima registrada en cada año. Se observa que el año con la mayor precipitación fue 2011, con un valor de 400.10 mm, seguido por 1982 con 356.60 mm y 1981 con 340.10 mm. En contraste, el año con la menor precipitación fue 1997, con un registro de 63.20 mm. Adicionalmente, dentro de los últimos 10 años, el 2020 presentó la mayor precipitación, alcanzando un valor de 282.10 mm.

Ilustración 18
Precipitación máxima por año



Nota: Elaboración propia

5.3.2. Generación de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Dado que el proyecto se encuentra ubicado en la región Andina, en la aplicación del método simplificado se emplean los parámetros de ajuste a , b , c y d correspondientes a la región R1. Con estos valores, se procede a realizar el cálculo de la intensidad de precipitación, así como diferentes duraciones de lluvia y períodos de diseño.

Se inició el proceso reemplazando los valores correspondientes a un período de retorno de 2 años, con una duración de lluvia de 10 minutos y una precipitación máxima multianual de 177,8 milímetros.

$$i = \frac{0.94 * (2)^{0.18} * (177.8)^{0.83}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.66}}$$

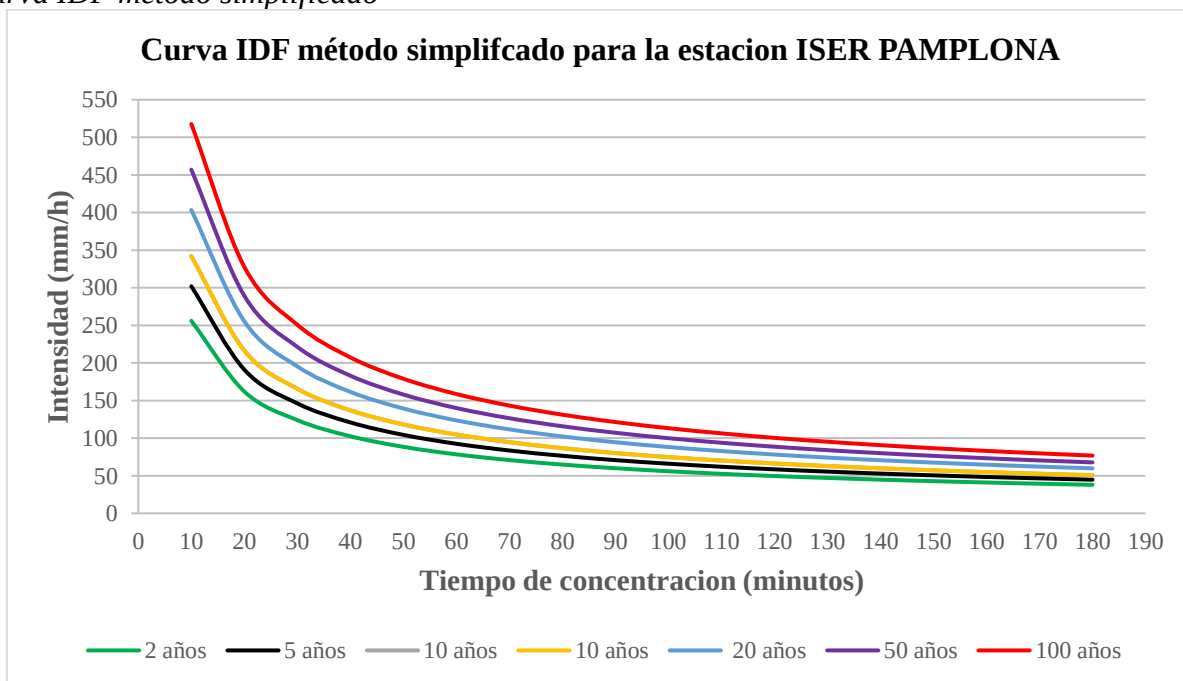
$$i = 256.01 \text{ mm/h}$$

Tabla 6
Precipitación para diferentes periodos de retorno método simplificado

Tiempo (min)	Periodo años					
	2	5	10	25	50	100
10	256.01	301.92	342.04	403.37	456.97	517.70
20	162.02	191.08	216.47	255.29	289.21	327.64
30	123.98	146.21	165.64	195.35	221.30	250.71
40	102.54	120.93	137.00	161.56	183.03	207.36
50	88.50	104.37	118.24	139.44	157.97	178.96
60	78.47	92.54	104.83	123.63	140.06	158.67
70	70.88	83.58	94.69	111.67	126.51	143.32
80	64.90	76.53	86.70	102.25	115.84	131.23
90	60.04	70.81	80.22	94.60	107.17	121.42
100	56.01	66.05	74.83	88.25	99.97	113.26
110	52.59	62.03	70.27	82.87	93.88	106.35
120	49.66	58.56	66.35	78.24	88.64	100.42
130	47.10	55.55	62.93	74.22	84.08	95.25
140	44.86	52.90	59.93	70.67	80.07	90.71
150	42.86	50.54	57.26	67.53	76.50	86.67
160	41.07	48.44	54.87	64.71	73.31	83.05
170	39.46	46.54	52.72	62.17	70.44	79.80
180	38.00	44.81	50.77	59.87	67.83	76.84

Nota: Elaboración propia

Ilustración 19
Curva IDF método simplificado



Nota: Elaboración propia

El Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, desarrolló la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación ISER PAMPLONA, considerando un período de 39 años hasta el 2010. En este estudio, se empleó una Ecuación (6) distinta a la utilizada en otros métodos de estimación, con variables de C1, C2 y X0

$$i = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}} \quad (6)$$

Tabla 7
Valores de las variables método IDEAM para curva IDF

TR (años)	C1	X0	C2
2	475.603	8.974	0.742
3	526.428	8.504	0.74
5	583.54	8.105	0.739
10	655.8	7.726	0.738
25	747.608	7.373	0.737
50	815.959	7.172	0.737
100	883.949	7.008	0.736

Tabla 8
Precipitación para diferentes periodos de retorno método IDEAM

D (min)	Tiempo de Retorno						
	2 años	3 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
15	45.1	50.9	57.4	65.5	75.7	83.3	90.9
30	31.2	35.1	39.3	44.7	51.5	56.5	61.5
60	20.7	23.2	26.0	29.4	33.8	37.0	40.3
120	13.1	14.7	16.4	18.6	21.3	23.4	25.4
360	5.7	6.4	7.1	8.0	9.2	10.0	10.9

Nota: Valores de la curva IDF tomado de (CURVAS IDF - IDEAM, s. f.)

Ilustración 20
Curva IDF del IDEAM

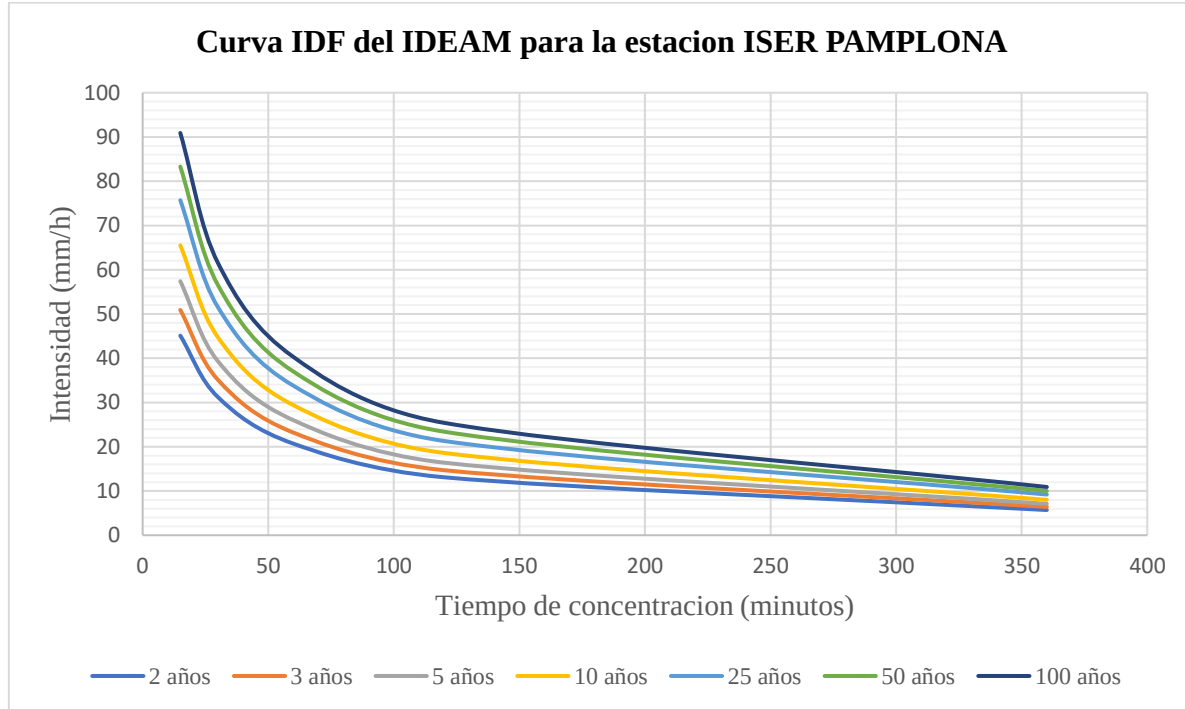
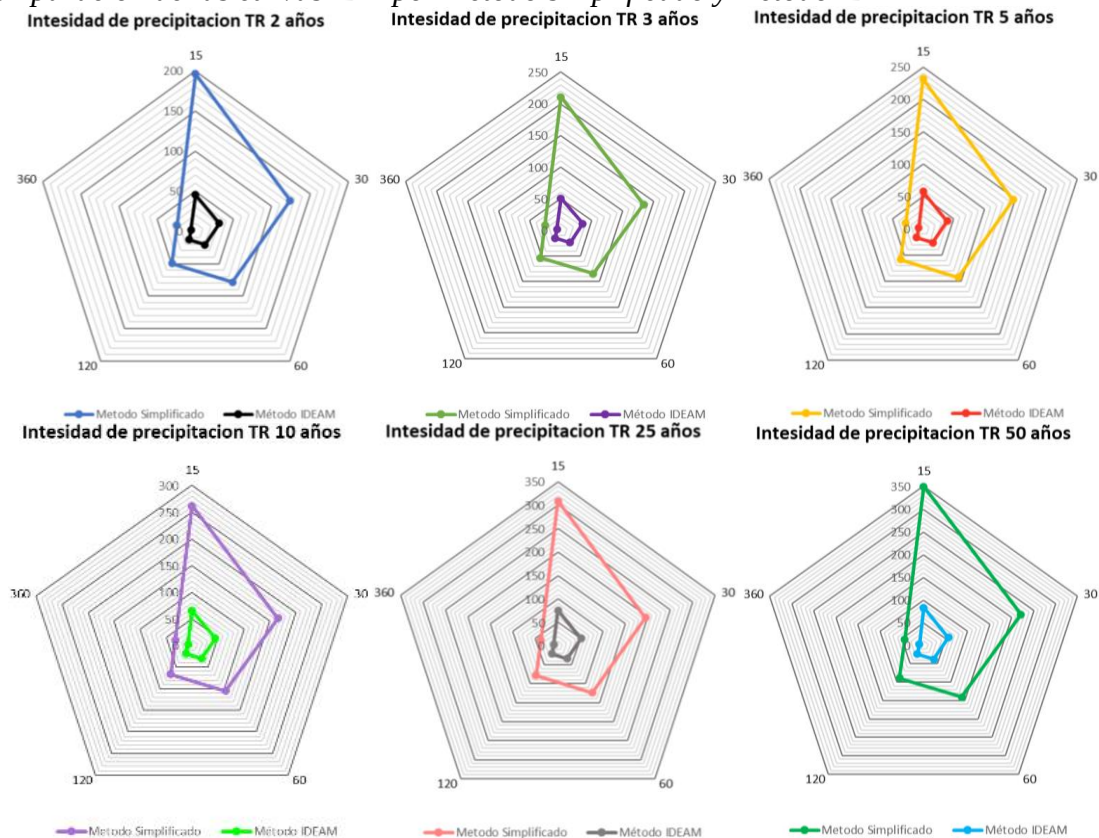


Ilustración 21
Comparación de las curvas IDF por método simplificado y método IDEAM



5.3.3. Estimación el coeficiente de escorrentía

En las 7 subcuencas delimitadas se identificaron diversos tipos de superficies, entre las cuales se encuentran laderas con y sin vegetación, superficies en concreto, cubiertas, áreas de drenaje con grava y pavimento asfáltico. Esta clasificación permitió determinar el coeficiente de escorrentía ponderado, con el fin de caracterizar las condiciones del terreno y evaluar su influencia en el comportamiento hidrológico de la zona de estudio.

Tabla 9
Valores de Coeficiente de escorrentía para cada subcuenca

Nombre Subcuencas	Área Total (Ha)	Tipo de Superficie	Coeficiente de escorrentía "C"	Área (Ha)	Coeficiente Ponderado
Sub-1	0.8173	Laderas con vegetación	0.30	0.5577	0.44
		Laderas sin vegetación	0.60	0.0898	
		Superficie en concreto	0.90	0.0286	
		Drenaje en grava	0.75	0.1078	
		Cubiertas	0.95	0.0334	
Sub-2	0.9217	Laderas con vegetación	0.30	0.1219	0.82
		Pavimento asfaltico	0.90	0.2112	
		Superficie en concreto	0.90	0.5886	
Sub-3	1.3139	Cubiertas	0.95	0.0175	0.58
		Pavimento asfaltico	0.90	0.3328	
		Superficie en concreto	0.90	0.2536	
		Laderas con vegetación	0.30	0.7100	
		Superficie en concreto	0.90	0.0120	
Sub-4	0.9841	Pavimento asfaltico	0.90	0.0279	0.32
		Laderas con vegetación	0.30	0.9442	

Nombre Subcuencas	Área Total (Ha)	Tipo de Superficie	Coefficiente de escorrentía (C)	Área (Ha)	Coefficiente Ponderado
Sub-5	0.2294	Laderas con vegetación	0.30	0.0524	0.76
		Cubiertas	0.95	0.0070	
		Pavimento asfáltico	0.90	0.0508	
		Superficie en concreto	0.90	0.1192	
Sub-6	0.2537	Laderas con vegetación	0.30	0.0913	0.68
		Pavimento asfáltico	0.90	0.1404	
		Superficie en concreto	0.90	0.0220	
Sub-7	0.3154	Superficie en concreto	0.90	0.0928	0.71
		Pavimento asfáltico	0.90	0.1203	
		Laderas con vegetación	0.30	0.1023	

Nota: Elaboración propia teniendo valores de escorrentía de (Titulo D -RAS, 2016)

5.3.4. Cálculo del tiempo de concentración para cada subcuenca

A partir de los datos obtenidos para cada subcuenca, se determinaron las características hidráulicas esenciales para el cálculo del tiempo de concentración. Se extrajo la longitud del flujo superficial desde el punto más alejado de la subcuenca hasta su punto de descarga, así como las cotas máxima y mínima, lo que permitió calcular la pendiente del cauce principal. Adicionalmente, se asignó el coeficiente de escorrentía de la *Tabla 2*. Con estos parámetros, se calcularon los tiempos de concentración. Como ejemplo, para la subcuenca 1 (Sub-1), los valores obtenidos fueron sustituidos en la *Ecuación (5)*, permitiendo así su cálculo.

$$T_c = \frac{0.7024 * (1.1 - 0.44) * (215.25)^{0.5}}{(0.2060)^{0.333}} \approx 12 \text{ minutos}$$

Tabla 10
Valores de Tiempo de concentración de cada subcuenca

Descripción de Subcuencas	Longitud cauce principal	Cota mayor cuenca	Cota menor cuenca	Diferencia de cotas	Pendiente del cauce principal	Coeficiente de escorrentía "C"	Tiempo de concentración	
	m	msnm	msnm	m	%		Horas	Minutos
Sub-1	215.25	2440.60	2396.26	44.34	20.60	0.44	0.19	12
Sub-2	221.84	2430.80	2391.00	39.80	17.94	0.82	0.09	6
Sub-3	283.60	2419.49	2378.20	41.29	14.56	0.58	0.20	12
Sub-4	230.73	2440.65	2382.00	58.65	25.42	0.32	0.22	14
Sub-5	323.28	2439.74	2371.59	68.15	21.08	0.76	0.12	8
Sub-6	176.38	2371.92	2355.49	16.43	9.32	0.68	0.14	9
Sub-7	336.00	2386.06	2358.00	28.06	8.35	0.71	0.19	12

Nota: Elaboración Propia

5.3.5. Elaboración de hietogramas de las subcuencas

Se realizó el cálculo de los hietogramas para cada subcuenca del proyecto y se representaron gráficamente con el fin de verificar que su distribución cumpla con la metodología establecida, la cual indica que la precipitación más intensa debe ubicarse en el centro del evento. Para consultar las demás tablas y gráficos de valores correspondientes a los hietogramas, remítase al *Anexo 1, Tablas e ilustraciones de los hietogramas*, donde se presentan los datos de las 6 subcuencas restantes.

Tabla 11
Valores del hietograma para Subcuenca 1

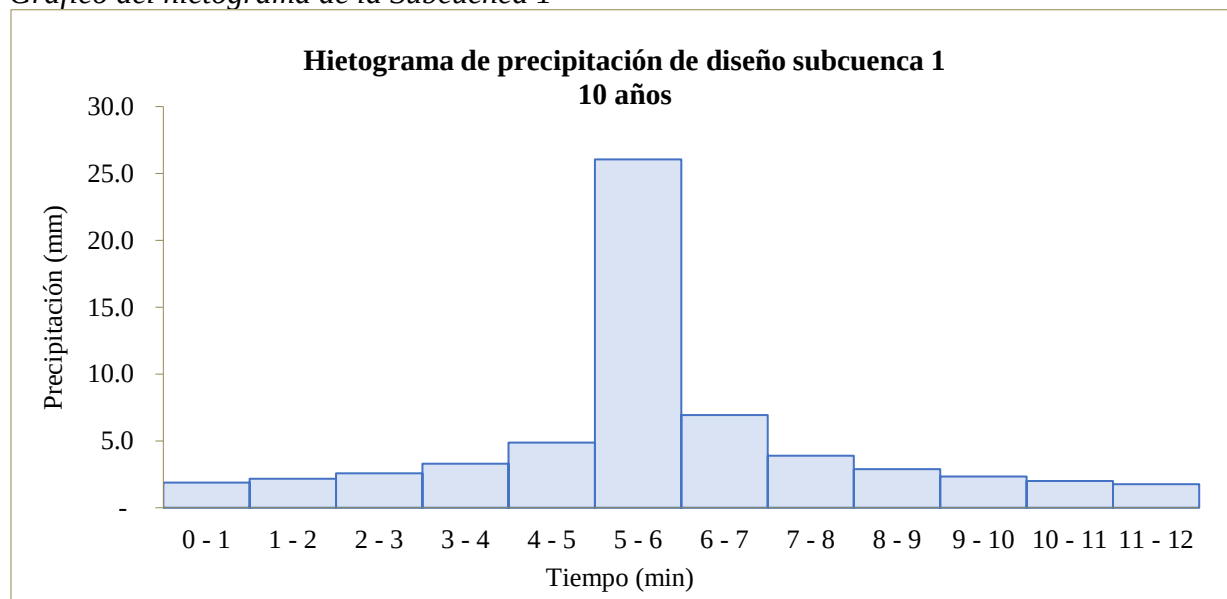
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	1.88
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	2.16
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	2.58
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	3.29
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	4.88

Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 7	26.06
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	6.92
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	3.89
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	2.88
10.00	342.04	57.01	2.01	9 - 10	2.35
11.00	321.19	58.88	1.88	10 - 11	2.01
12.00	303.26	60.65	1.77	11 - 12	1.77

Nota: Elaboración propia

Ilustración 22

Gráfico del hietograma de la Subcuenca 1



Nota: Elaboración propia

5.3.6. Estimación el coeficiente de Curve Number del SCS

En ArcGIS se analizó el shapefile que fue descargado desde el geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde proporciona información de las características del suelo de todo el departamento de Norte de Santander. Tras ubicar el proyecto en el municipio de Pamplona, se observó que hay presencia de dos tipos de suelos y de acuerdo con la clasificación de Soil Conservation Service quedaron de la siguiente manera:

Grupo	Características
B	Moderadamente profundos, bien drenados, de texturas franco arenosa a franca. Fertilidad natural baja
C	Muy superficiales y moderadamente profundos, bien drenados, de textura franco arcillo arenosa con gravilla. Fertilidad baja

Ya identificado el grupo hidrológico al cual pertenecía cada subcuenca, se hizo el análisis detallado de los tipos de cobertura presente en cada una de estas áreas. Debido a la presencia de distintos valores de número de curva en una misma subcuenca, se obtuvo el CN ponderado, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12
Valores de Numero de curva de las subcuencas del proyecto

Nombre Subcuenca	Área Total (Ha)	Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura		Curve Number (CN)	Área (Ha)	CN Ponderado
Sub-1	0.8173	B	Espacios abiertos	Condición optima (más del 75% cubierto de pasto)	61	0.6655	65.80
				Camino en tierra	82	0.0898	
			Áreas Impermeables	Zanjas abiertas	89	0.0286	
				Techos	98	0.0334	
Sub-2	0.9217	B	Espacios abiertos	Condición aceptable (del 50% al 75% cubierto de pasto)	69	0.1219	88.42
			Áreas Impermeables	Pavimentados	98	0.2112	
				Zanjas abiertas	89	0.5886	

Nombre Subcuenca	Área Total (Ha)	Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura		Curve Number (CN)	Área (Ha)	CN Ponderado
Sub-3	1.3139	B	Áreas Impermeables	Techos	98	0.0175	83.29
				Pavimentados	98	0.3328	
			Espacios abiertos	Zanjas abiertas	89	0.2536	
				Condición optima (más del 75% cubierto de pasto)	74	0.7100	
Sub-4	0.9841	C	Áreas Impermeables	Zanjas abiertas	92	0.0120	74.90
				Pavimentados	98	0.0279	
			Espacios abiertos	Condición optima (más del 75% cubierto de pasto)	74	0.9442	
Sub-5	0.2294	C	Espacios abiertos	Condición deficiente (menos del 50% cubierto de pasto)	86	0.0524	92.14
				Techos	98	0.0070	
			Áreas Impermeables	Pavimentados	98	0.0508	
				Zanjas abiertas	92	0.1192	
Sub-6	0.2537	B	Espacios abiertos	Condición deficiente (menos del 50% cubierto de pasto)	79	0.0913	90.38
				Pavimentados	98	0.1404	
			Áreas Impermeables	Zanjas abiertas	89	0.0220	

Nombre Subcuenca	Área Total (Ha)	Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura		Curve Number (CN)	Área (Ha)	CN Ponderado
Sub-7	0.3154	B	Espacios abiertos	Condición deficiente (menos del 50% cubierto de pasto)	79	0.0928	89.49
			Áreas Impermeables	Pavimentados	98	0.1203	
				Zanjas abiertas	89	0.1023	

Nota: Elaboración propia tomando valores de numero de curva según establecidos (Chow & Maidment, 1994)

5.3.7. Valores estimados del Método Muskingum

A partir de las características geométricas de los dos tramos de canal extraídos de la topografía, se determinaron pendientes menores al 10%. En ambos casos, se asignó un valor bajo al coeficiente X del método Muskingum, considerando como criterio principal la velocidad del flujo y la pendiente, lo que permitió seleccionar el valor más adecuado para representar el comportamiento hidráulico en cada tramo.

Tabla 13

Valores del método Muskingum de los tramos del modelo hidrológico

Tramo	Cota mayor	Cota menor	Longitud	Pendiente	Tiempo de concentración	Velocidad media	Coef.	Coef.	Numero de subtramos
	-	-	Δx	S	Tc	C	K	X	n
	msnm	msnm	m	%	h	m/s	h	-	-
T-1	2396.26	2391.00	83.35	6.31	0.05	0.43	0.032	0.25	1
T-2	2369.30	2358.00	124.75	9.06	0.06	0.59	0.035	0.20	1

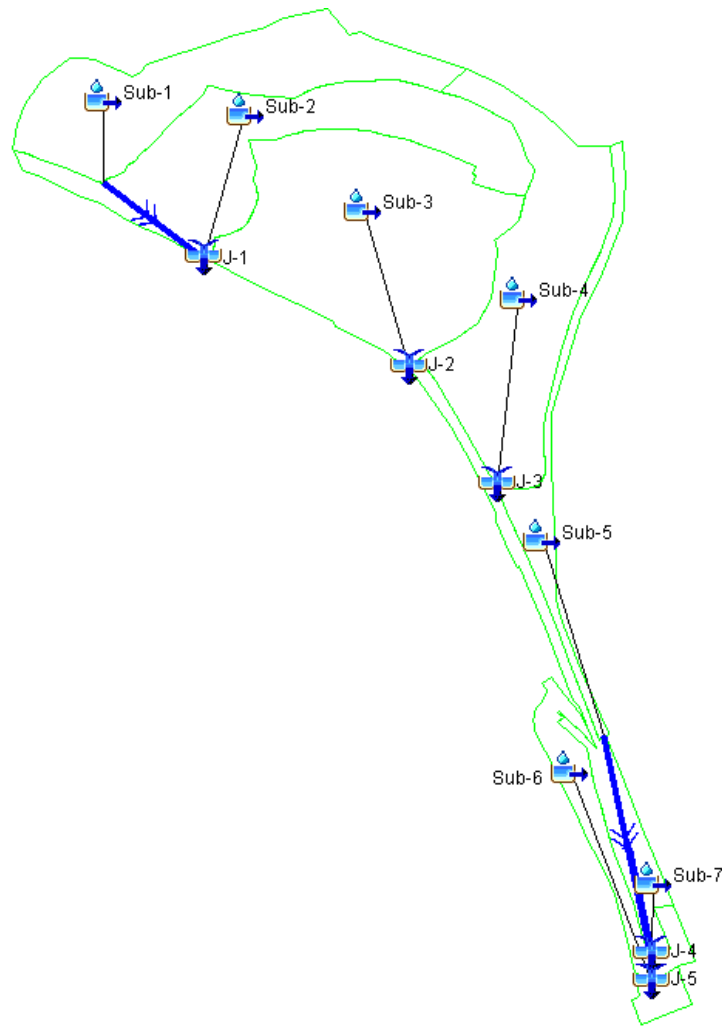
Nota: Elaboración propia

5.3.8. Distribución del Modelo Hidrológico y Datos de Entrada en HEC-HMS

La distribución de los componentes en el área del proyecto resultó en un total de 7 Subbasin, 5 Junction y 2 Reach. A cada uno de estos elementos se le asignaron los valores correspondientes, según los métodos seleccionados para su funcionamiento.

Ilustración 23

Distribución de Componentes del Modelo Hidrológico.



Nota: Tomado de Hec-Hms versión 4.3

Ilustración 24

Valores de Área y Numero de curva ingresados en Hec-Hms

Subbasin	Area (KM2)
Sub-1	0.008173
Sub-2	0.009217
Sub-3	0.013139
Sub-4	0.009841
Sub-5	0.002294
Sub-6	0.002537
Sub-7	0.003154

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
Sub-1		65.8	0.0
Sub-2		88.42	0.0
Sub-3		83.29	0.0
Sub-4		74.9	0.0
Sub-5		92.14	0.0
Sub-6		90.38	0.0
Sub-7		89.49	0.0

Nota: Tomado de Hec-Hms versión 4.3

Ilustración 25

Valores de Tiempo de retardo y Muskingum ingresados en Hec-Hms

Subbasin	Graph Type	Lag Time (MIN)
Sub-1	Standard	7.2
Sub-2	Standard	3.6
Sub-3	Standard	7.2
Sub-4	Standard	8.4
Sub-5	Standard	4.8
Sub-6	Standard	5.4
Sub-7	Standard	7.2

Reach	Initial Type	Initial Discharge (M3/S)	Muskingum K (HR)	Muskingum X	Number of Subreaches
R-1	Discharge = Inflow		0.032	0.26	1
R-2	Discharge = Inflow		0.035	0.23	1

Nota: Tomado de Hec-Hms versión 4.3

5.3.9. Ajuste y análisis de hidrogramas del modelo hidrológico en HEC-HMS

Se llevó a cabo el ajuste de los parámetros y componentes del modelo hidrológico en HEC-HMS, considerando las características físicas de la cuenca y los datos de precipitación disponibles. Este proceso permitió calibrar adecuadamente el comportamiento del sistema para simular de forma representativa la respuesta hidrológica ante distintos escenarios. Como resultado, se obtuvieron los hidrogramas de salida correspondientes a los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, los cuales se presentan en las ilustraciones siguientes.

Tabla 14
Hidrogramas para un periodo de retorno de 10 años

Intervalo		Hidrogramas				
		1	2	3	4	5
(Minutos)	(Segundos)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	240	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
5	300	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
6	360	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7	420	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1
8	480	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1
9	540	0.4	0.2	0.0	0.2	0.1
10	600	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2
11	660	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2
12	720	0.2	0.4	0.1	0.3	0.1
13	780	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1
14	840	0.1	0.5	0.2	0.3	0.1
15	900	0.1	0.5	0.2	0.2	0.1
16	960	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1
17	1020	0.1	0.4	0.2	0.2	0.0
18	1080	0.1	0.3	0.2	0.2	0.0
19	1140	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0
20	1200	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
21	1260	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0

Intervalo		Hidrogramas				
		1	2	3	4	5
(Minutos)	(Segundos)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
22	1320	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0
23	1380	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
24	1440	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
25	1500	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
26	1560	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
27	1620	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
28	1680	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	1740	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	1800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota: Ver en Anexo 2, Tablas de hidrogramas de 50 y 100 años de periodo de retorno.

El modelo hidrológico refleja una respuesta progresiva acorde con las condiciones de cada subcuenca. El hidrograma 1 presenta el primer caudal significativo, alcanzando un pico de 0.6 m³/s al minuto 7, reflejo de una zona con alta pendiente y baja infiltración, lo que genera una escorrentía rápida concurda debido que están incluidas las subcuencas 1 y 2 donde su cobertura es 50% impermeable. Los hidrogramas 2, 4 y 5 se activan entre los minutos 8 y 15 con caudales moderados (hasta 0.5 m³/s), indicando subcuencas con mayor retención, pendientes suaves y vegetación que retarda la escorrentía. Por su parte, el hidrograma 3 muestra una respuesta más tardía y un caudal máximo reducido (0.2 m³/s), asociado a una mayor capacidad de infiltración, ya que corresponde a la subcuenca 4, caracterizada por un 95 % de cobertura vegetal.

5.4. Implementación del modelo hidrodinámico Iber

5.4.1. Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

Se realizó la asignación precisa de los valores de rugosidad considerando la nueva clasificación de tipos de superficie, conforme a la tabla de referencia del coeficiente de Manning. Como resultado, los diferentes usos del suelo fueron agrupados en siete categorías principales: concreto

terminado con llana metálica para canales pluviales y aceras, concreto lanzado para la estabilización de taludes en la entrada del túnel, fondo de grava con piedra suelta para áreas de drenaje pluvial en grava en la parte alta del talud, asfalto liso, superficies con cobertura vegetal, zonas sin vegetación y áreas de construcciones.

Tabla 15
Valores de coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de Superficie		Rugosidad de Manning (n)
Concreto	Terminado con llana metálica	0.013
	Lanzado sección buena	0.019
	Fondo grava con piedra suelta	0.032
	Asfalto liso	0.013
	Vegetación en general	0.033
	Sin vegetación	0.025
	Construcciones	0.016

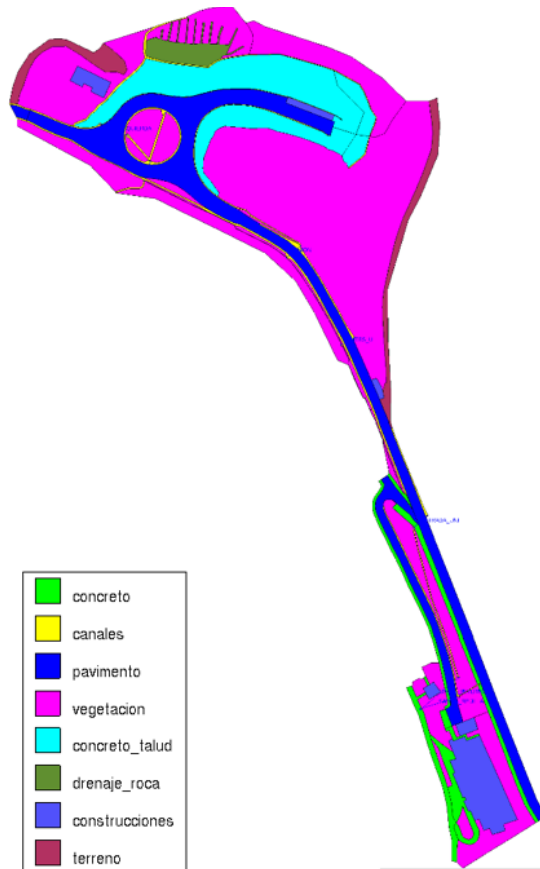
Nota: Tomado de la Tabla de valores del coeficiente de rugosidad n (French, 1988)

5.4.2. Preproceso de datos en el modelo Iber

Se logró importar de forma satisfactoria la geometría del modelo, así como la definición del uso del suelo y la asignación de las condiciones de contorno, lo cual se evidencia en las ilustraciones presentadas a continuación. Para la discretización espacial, se optó por un tamaño de malla uniforme de 0.5 metros, seleccionado tras múltiples iteraciones con tamaños mayores que no reproducían adecuadamente el comportamiento de la escorrentía en el modelo. Asimismo, se estableció un valor de 0.5 para el coeficiente de Courant, con el fin de mitigar posibles errores numéricos durante la simulación. En cuanto a los parámetros temporales, se definió un tiempo total de simulación de 2000 segundos con un intervalo de salida de 5 segundos para el hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 10 años. Para los demás escenarios, se amplió el tiempo total de simulación a 2200 segundos, manteniéndose constantes las demás configuraciones.

Ilustración 26

Uso de suelo asignado en el preproceso



5.4.3. Utilizar los resultados del modelo hidrodinámico de IBER para generar mapas de esorrentía

Se generaron lo mapas de esorrentía en el modelo para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años donde se pudo observar que presenta una similitud en su comportamiento real que puede llegar a tener la zona ante un evento de precipitación, y como el caudal se va distribuyendo en la zona hacia cada uno de los puntos de desagüe.

Ilustración 27

Mapa de escorrentía del proyecto periodo de retorno 10 años

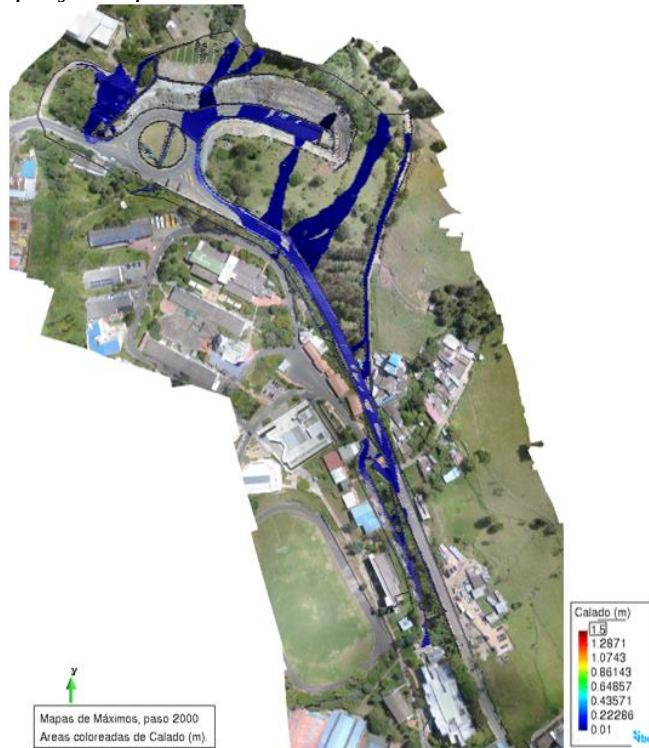


Ilustración 28

Mapa de escorrentía del proyecto periodo de retorno 50 años

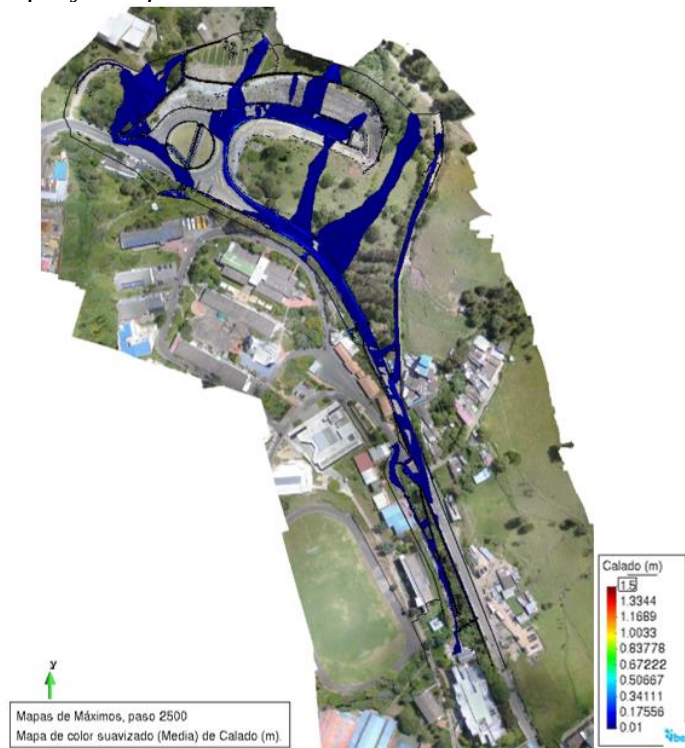
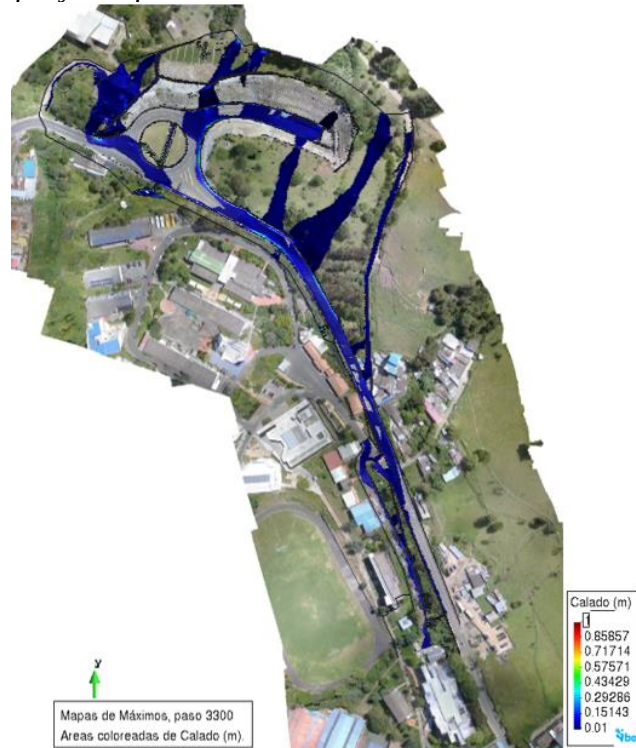


Ilustración 29

Mapa de esorrentía del proyecto periodo de retorno 100 años



5.4.4. Determinar las áreas más vulnerables a inundación

Dado que la zona universitaria constituye el área prioritaria en este proyecto, se realizó un análisis específico de su comportamiento hidrodinámico. Para ello, se tomaron los valores de velocidad y tirante tanto en la entrada al campus como en el sector del parqueadero del bloque Simón Bolívar, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 16

Valores de tirante y velocidad en zona universitaria

Periodo de retorno	Tirante (m)		Velocidad (m/s)	
	Entrada	Parqueadero	Entrada	Parqueadero
10 años	0.0468	0.0170	3.0931	0.9262
50 años	0.0494	0.0175	3.3826	0.9599
100 años	0.0642	0.0266	3.8044	1.5205

Ilustración 30

Mapa de profundidad de escorrentía de la zona de la universidad de periodo de retorno 10 años

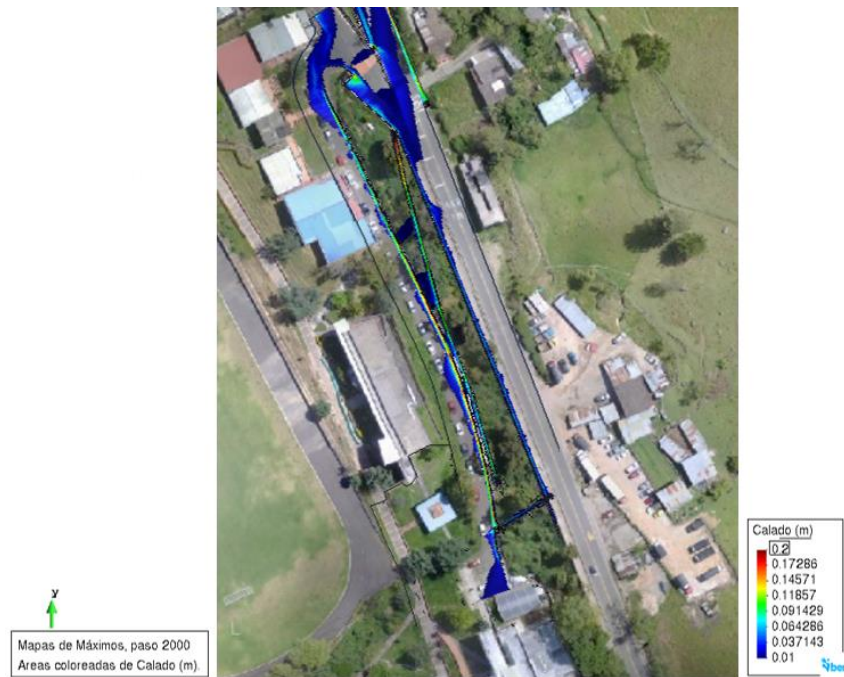


Ilustración 31

Mapa de velocidad de la zona de universidad periodo de retorno 10 años

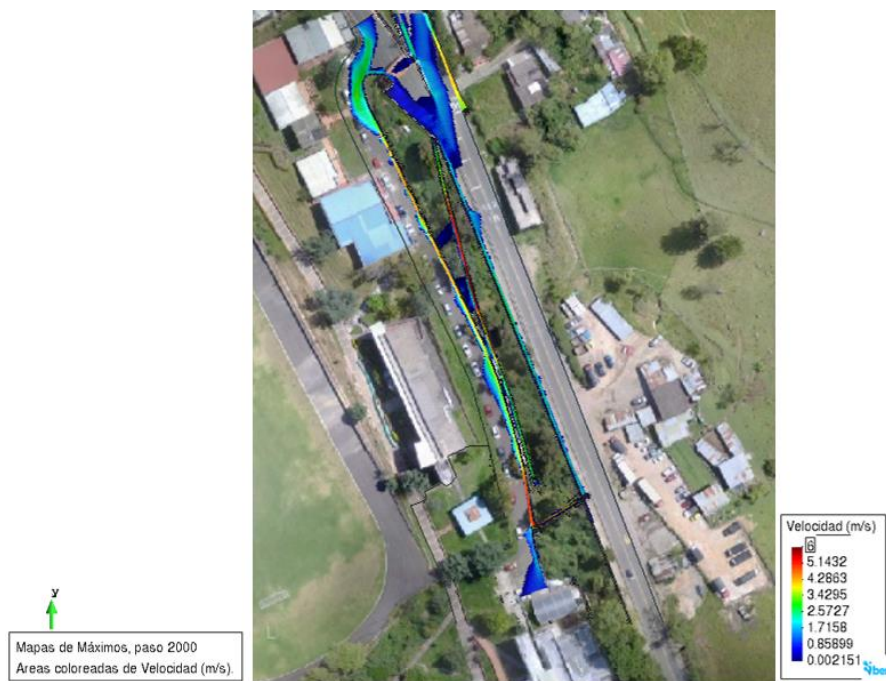


Ilustración 32

Mapa de profundidad de escorrentía de la zona de la universidad de periodo de retorno 50 años

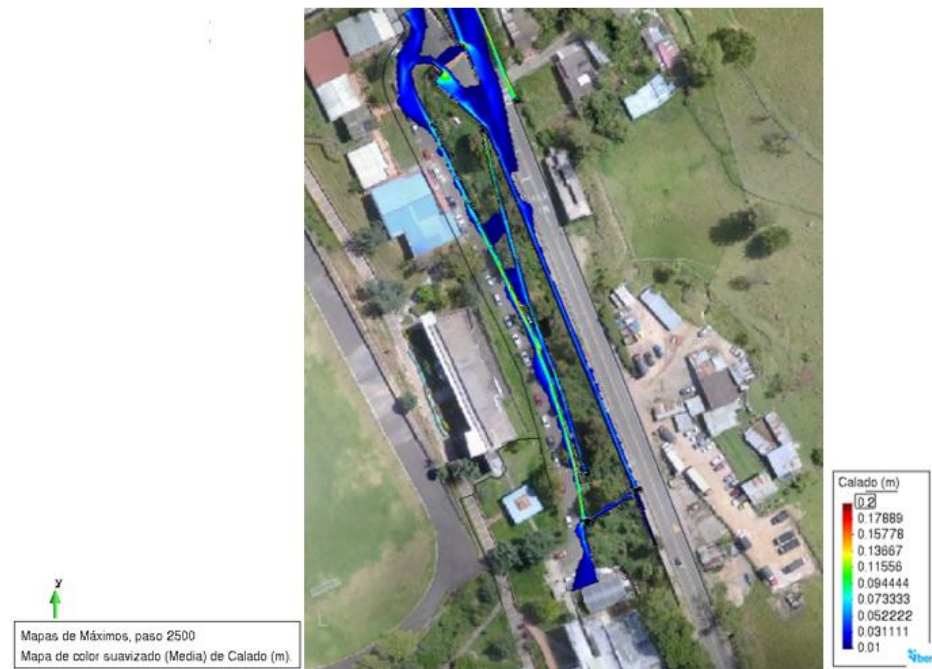


Ilustración 33

Mapa de velocidad de la zona de universidad periodo de retorno 50 años



Ilustración 34

Mapa de profundidad de esorrentía de la zona de la universidad de periodo de retorno 100 años

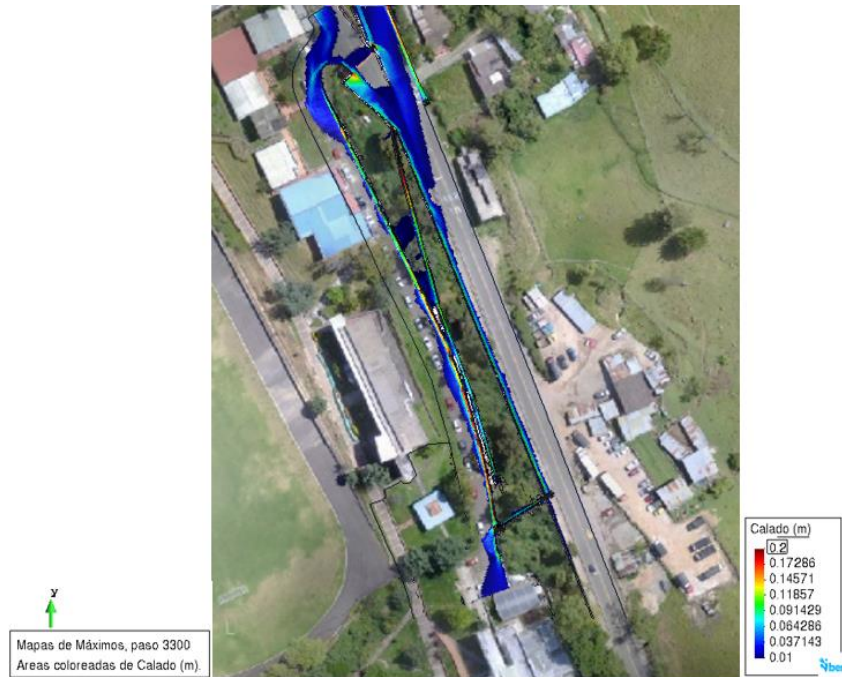
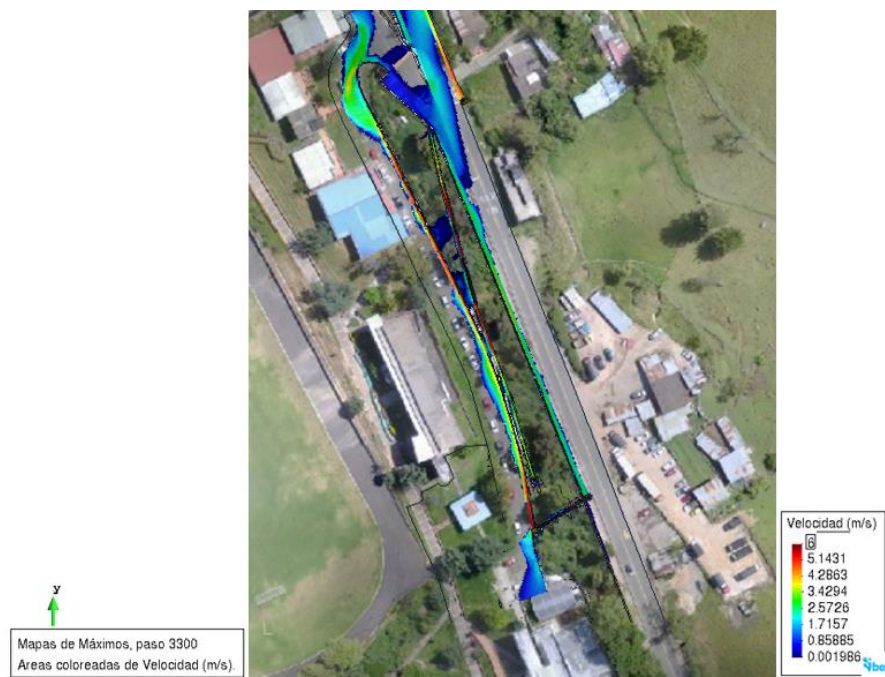


Ilustración 35

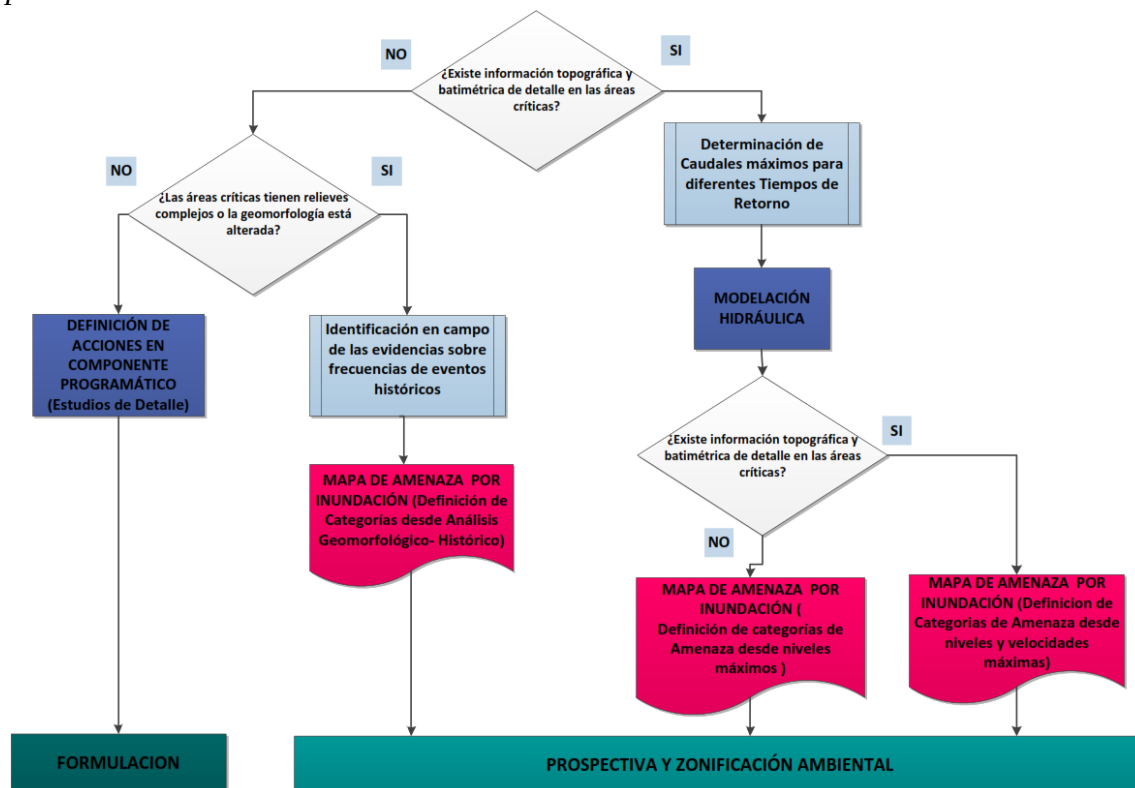
Mapa de velocidad de la zona de universidad periodo de retorno 100 años



A partir del modelo hidrodinámico desarrollado, se delimitaron las áreas de amenaza por inundación considerando los resultados obtenidos sobre calado, velocidad y el área afectada por la inundación. Este proceso se realizó conforme a los lineamientos del (MinAmbiente, 2014), el cual establece que “la evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas y de alteración antrópica de las mismas.” Para ello, se aplicó el esquema metodológico propuesto en el documento citado, que contempla tres vías para definir las categorías de amenaza, integrando criterios físicos, hidráulicos y antrópicos, y sirviendo como base para una gestión integral del riesgo.

Ilustración 36

Ruta metodológica para el análisis del riesgo por inundaciones fluviales lentas en áreas con alta susceptibilidad.

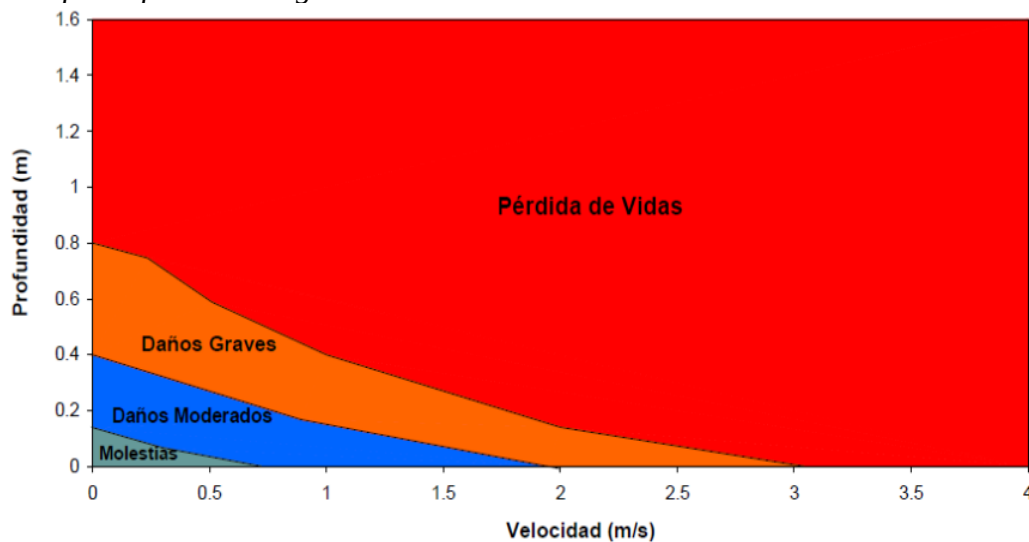


Nota: Tomado de “Formulación e Implementación de Acciones de OAT en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011” (MinAmbiente, 2014)

Con base en los resultados obtenidos del modelo hidráulico y los valores presentados en la *Tabla 16*, se procedió a clasificar las zonas de amenaza por inundación según los lineamientos del (MinAmbiente, 2014). Para ello, se consideró la relación entre la altura del agua y la velocidad del flujo como criterio clave para estimar el nivel de daño potencial, conforme a la metodología ilustrada en la siguiente imagen.

Ilustración 37

Niveles de impacto potencial según las condiciones hidráulicas de la inundación



Nota: Tomado de “Formulación e Implementación de Acciones de OAT en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011” (MinAmbiente, 2014)

A partir de los valores obtenidos, se aplica la metodología para clasificar la amenaza (ver *Ilustración 37*), según el daño potencial derivado de la combinación entre profundidad y velocidad del flujo.

- **Amenaza alta:** zona comprendida entre la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.

- **Amenaza media:** zona ocupada por las manchas de inundación 100 años y velocidades y profundidades que generen daños moderados y/o molestias a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- **Amenaza baja:** zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños moderados y molestias.

Con base en la información obtenida en los dos puntos de control y los parámetros hidráulicos analizados, se estableció la siguiente zonificación de amenaza por inundación, la cual permite identificar el nivel de riesgo que presenta el área en estudio.

Tabla 17

Evaluación del nivel de amenaza por inundación en los puntos de control según periodos de retorno

Periodo de retorno	Nivel de amenaza por inundación			
	Tirante (m)		Velocidad (m/s)	
	Entrada	Parqueadero	Entrada	Parqueadero
10 años	Media	Baja	Alta	Baja
50 años	Media	Baja	Alta	Baja
100 años	Media	Baja	Alta	Baja

En el sector de acceso principal a la universidad, el modelo hidráulico arrojó velocidades superiores a 3 m/s con tirantes inferiores a 0.1 m, valores que, según la gráfica de evaluación de amenaza por inundación (profundidad vs. velocidad), se ubican en la categoría de riesgo alto con posible pérdida de vidas. Sin embargo, este resultado debe contextualizarse: se trata de un tramo corto, en pendiente, recubierto en asfalto, donde el flujo superficial se canaliza de manera puntual

hacia una canal ubicada al costado, sin generar acumulaciones ni pérdida de control del flujo. Dado que la zona cuenta con buena visibilidad, condiciones de evacuación rápida y tránsito controlado, la amenaza real no corresponde a una condición crítica. Por tanto, se concluye que, si bien el modelo refleja una alta velocidad puntual, el riesgo efectivo se reduce, siendo más apropiado clasificar esta zona como de Amenaza Media.

En el parqueadero, segundo punto de control, las condiciones hidráulicas modeladas muestran velocidades máximas de hasta 1.52 m/s y profundidades de 0.0266 m para el escenario de 100 años. Aunque estos valores corresponden, en el gráfico de amenaza, a niveles de daño moderado, el análisis debe enfocarse en el contexto funcional: esta área es de alta circulación peatonal, ya que conecta espacios académicos y zonas de alimentación. A pesar de que las profundidades son bajas y no se evidencia acumulación significativa, la combinación de tránsito constante, superficie pavimentada y antecedentes de afectación justifican una clasificación de Amenaza Media, con el fin de considerar medidas preventivas que reduzcan el riesgo ante eventos de lluvia intensa.

6. Conclusiones

El levantamiento topográfico detallado se llevó a cabo de manera exitosa mediante el uso de fotogrametría, lo que permitió la generación de un Modelo Digital de Terreno (MDT) y una ortofoto a partir de imágenes aéreas. Posteriormente, con mediciones en campo de elementos clave se ajustó el MDT, lo que facilitó un análisis preciso de las características del área de estudio. Se determinó que el 57.65% de la zona corresponde a superficies permeables, como áreas con vegetación, sin vegetación y drenaje en grava, mientras que el 42.35% está conformado por superficies impermeables, incluyendo estabilización de taludes en la entrada del túnel, aceras, canales pluviales, edificaciones y pavimento asfáltico. Estos hallazgos evidencian la necesidad de un sistema de drenaje eficiente, ya que se identificó la acumulación de agua en algunos pozos recolectores debido a obstrucciones parciales.

El análisis de los hietogramas generados con el método de bloques alternos para las 7 subcuencas evidenció variaciones en la distribución de la precipitación, con duraciones que oscilaron entre 6 y 14 minutos, además que arrojaron valores máximos de precipitación obtenidos para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años de 26.06 mm, 34.81 mm y 39.44 mm respectivamente, reflejan el crecimiento progresivo de la severidad de los eventos de lluvia conforme aumenta la frecuencia con la que se espera que ocurran. En áreas con elevada impermeabilidad, estos valores adquieren un significado crucial, ya que, al no haber infiltración significativa, el agua escurre rápidamente sobre la superficie, provocando flujos intensos en periodos muy breves que pueden representar un riesgo considerable.

La construcción del modelo hidrodinámico de la cuenca en estudio se realizó exitosamente mediante la integración de herramientas especializadas en modelación hidrológica e hidráulica. A través de HEC-HMS, se desarrolló el modelo hidrológico considerando las siete subcuencas delimitadas, empleando métodos de SCS y Muskingum, lo que permitió obtener los hidrogramas correspondientes en cada punto de desagüe. Por otro lado, el modelo hidráulico se implementó en el software IBER, donde se asignaron coeficientes de rugosidad adecuados para cada tipo de cobertura del suelo, asegurando una representación realista del flujo. Además, se realizaron ajustes en el mallado de la superficie para optimizar la precisión de los resultados. Estos procedimientos permitieron verificar las soluciones numéricas de las ecuaciones que rigen el flujo, garantizando así la fiabilidad del modelo desarrollado.

Se llevó a cabo una modelación hidrodinámica utilizando hidrogramas correspondientes a periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, con el objetivo de simular escenarios asociados a eventos climáticos extremos en la zona del proyecto. Esta modelación permite anticipar el comportamiento de la escorrentía en distintos niveles de severidad, contribuyendo así a la identificación de posibles riesgos y a la implementación de medidas preventivas que garanticen la seguridad de los estudiantes, el personal universitario y su entorno.

El desarrollo del modelo hidrodinámico se originó por las reiteradas afectaciones en el bloque Simón Bolívar, evidenciadas tras eventos de lluvias intensas en la Universidad de Pamplona. Gracias a la simulación, se identificó que la entrada del campus, zona crítica donde confluyen varias subcuencas, presenta un tirante máximo de 0.0642 m y velocidades de hasta 3.80 m/s para un periodo de retorno de 100 años. Estos valores, si bien indican una escasa profundidad, evidencian un flujo altamente energético con capacidad de causar arrastre superficial, deterioro de infraestructura o riesgo peatonal.

Es importante precisar que el sector del parqueadero, ubicado a 180 metros de distancia de la entrada principal, presenta condiciones distintas, con menor velocidad y menor impacto hidráulico. Esta diferencia de ubicación ayuda a entender por qué el bloque académico ha sido el más afectado, ya que se encuentra justo en el área donde se unen varios flujos de agua, y el diseño actual del sistema de drenaje dirige la escorrentía precisamente hacia ese sector. En consecuencia, se concluye que el modelo permitió esclarecer las causas reales de la problemática de inundación en el bloque académico, descartando hipótesis generales y aportando una visión técnica concreta, útil para implementar soluciones localizadas y efectivas dentro del campus universitario.

7. Recomendaciones

Como futuro ingeniero civil, considero fundamental que este tipo de modelos no se limiten únicamente a la simulación numérica, sino que se conviertan en herramientas vivas, integradas dentro de la planeación y mantenimiento urbano. En primer lugar, es recomendable establecer una actualización periódica del modelo con nuevos datos pluviométricos y topográficos, en especial considerando los cambios constantes en el uso del suelo y las condiciones climáticas extremas asociadas al cambio climático. También, se recomienda incorporar sensores de nivel o estaciones meteorológicas automatizadas en puntos clave del campus universitario, lo cual permitiría validar y ajustar en tiempo real los escenarios planteados.

8. Referencias

- Alcaldía Pamplona. (s. f.). [Institucional]. Alcaldia Pamplona. Recuperado 2 de mayo de 2024, de <https://pamplona-nortedesantander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx#gsc.tab=0>
- Barrios García, T. Y., & Barrios García, Y. (2015). *Modelación de Pronósticos Hidrológicos para Niveles de Agua en Tiempo Real para el Río San Jorge, con fines de Gestión del Riesgo por Inundaciones en el Municipio de Ayapel Córdoba* [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2920>
- Béjar, M. V. (2015). *Hec-Hms: Ejemplos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Boza, F. A. A., Rojas, C. T., Vidal, L. R. L., & Loor, J. D. B. (2021). Simulación y análisis de inundaciones en cabeceras de cuenca, utilizando el software IBER en diferentes tramos. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(47), Article 47. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20637>
- Chow, V. T., & Maidment, D. V. R. (with Mays, L. W.). (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14914919>
- Cubides, E. D., & Santos, G. E. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42. <https://doi.org/10.31908/19098367.3813>
- CURVAS IDF - IDEAM. (s. f.). Recuperado 1 de abril de 2025, de <http://www.ideam.gov.co>
- French, R. (1988). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS* | SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/hidraulica-canales-abiertos>

- Gelpi, G. R. (2015). *Análisis de los procesos de infiltración y escorrentía durante precipitaciones intensas* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata].
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/78404>
- Gordillo-Rodríguez, A. J. (2013). *Análisis de vulnerabilidad y medidas regulatorias para inundaciones en Bosa*. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/befe70e9-0968-4b90-a15c-797e7fe0f48e>
- Guarniz Muñoz, C. K. (2014). Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis de rotura en presas de materiales sueltos; y aplicación a la presa Palo Redondo. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/634>
- Manual de utilización del programa HEC-HMS*. (2008). UPC Universitat Politècnica de Catalunya. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15073616>
- Martínez Esquivel, E. G. (2023). *Modelación hidrológica e hidráulica de la cuenca rio Chapingo* [Universidad Autónoma Chapingo].
<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/2988>
- MinAmbiente. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/protocolo-para-la-incorporacion-de-la-gestion-del-riesgo-en-los-planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas/>
- Modelación hidrológica—IDEAM*. (s. f.). IDEAM. Recuperado 27 de abril de 2024, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

- Ortiz-Higuera, E. A. (2015). *Caracterización morfométrica, modelación hidrológica y modelación hidráulica para la cuenca del cauce en la Urbanización Ciudad Blanca, del Municipio San Gil, Departamento de Santander, mediante el uso de las herramientas HEC-GEOHMS y HEC-GEORAS*. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/570b6fe7-0e4b-4c26-acbc-2b43834537c1>
- Pedraza Camacho, S. L., & Plazas Espinosa, M. F. (2020). *Modelo de inundación para las unidades hidrológicas la negreña y la naranjera en el municipio del Playón, Santander*. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/39755>
- Rodríguez Sarasty, D. M., & Jojoa Ayala, J. I. (2012). *Estudio y evaluación de alternativas para la restauración de la hidrodinámica de la Laguna de Sonso*. 106.
- Romera, E. R., & Santos, M. M. (s. f.). *Hidrología Aplicada: Escorrentía*.
- Romero-Pérez, D., & Gómez-Romero, D. C. (2022). *Implementación del software Iber para realizar un modelo de calidad del agua y evaluar escenarios en el Río Ranchería, Guajira*. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/48584170-308a-45d7-8691-7ab10ca5163d>
- Sierra Porgutá, L. F. (2015). *Comparación entre metodologías de modelación hidrológica HEC HMS, hidráulica en 1D HEC-RAS y 2D modelo IBER, de planicies de inundación y zonas urbanas para el caso de Villapinzon, Cundinamarca*. Repositorio Digital Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/193>
- TÍTULO D *Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias*. (2016). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

- Triviño, A., & Ortiz Rojas, S. (2004). *Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos*. <https://doi.org/10.14198/INGEO2004.35.08>
- Valencia, D. M. R., & Nájera, J. D. C. Z. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palagrande. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018011>
- Vargas, R., & Diaz-Granados, M. (1998). *CURVAS SINTETICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA PARA COLOMBIA*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14908644>
- Villegas, P. (2017, enero 9). *Método del Número de Curva del SCS*. Agua y SIG. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

9. Anexos

Anexo 1, Tablas e ilustraciones de los hietogramas de todas las subcuencas

Tabla 18

Hietograma Sub-1 para PR de 10 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-1					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	1.88
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	2.16
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	2.58
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	3.29
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	4.88
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	26.06
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	6.92
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	3.89
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	2.88
10.00	342.04	57.01	2.01	9 - 10	2.35
11.00	321.19	58.88	1.88	10 - 11	2.01
12.00	303.26	60.65	1.77	11 - 12	1.77

Tabla 19

Hietograma Sub-1 para PR de 50 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-1					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	2.51
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	2.88
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	3.44
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	4.40
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	6.51
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	34.81
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	9.25
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	5.20
9.00	489.88	73.48	2.88	8 - 9	3.85
10.00	456.97	76.16	2.68	9 - 10	3.13
11.00	429.11	78.67	2.51	10 - 11	2.68
12.00	405.16	81.03	2.36	11 - 12	2.36

Tabla 20*Hietograma Sub-1 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-1					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	2.84
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	3.27
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	3.90
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	4.98
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	7.38
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	39.44
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	10.48
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	5.89
9.00	554.98	83.25	3.27	8 - 9	4.36
10.00	517.70	86.28	3.04	9 - 10	3.55
11.00	486.14	89.12	2.84	10 - 11	3.04
12.00	459.00	91.80	2.68	11 - 12	2.68

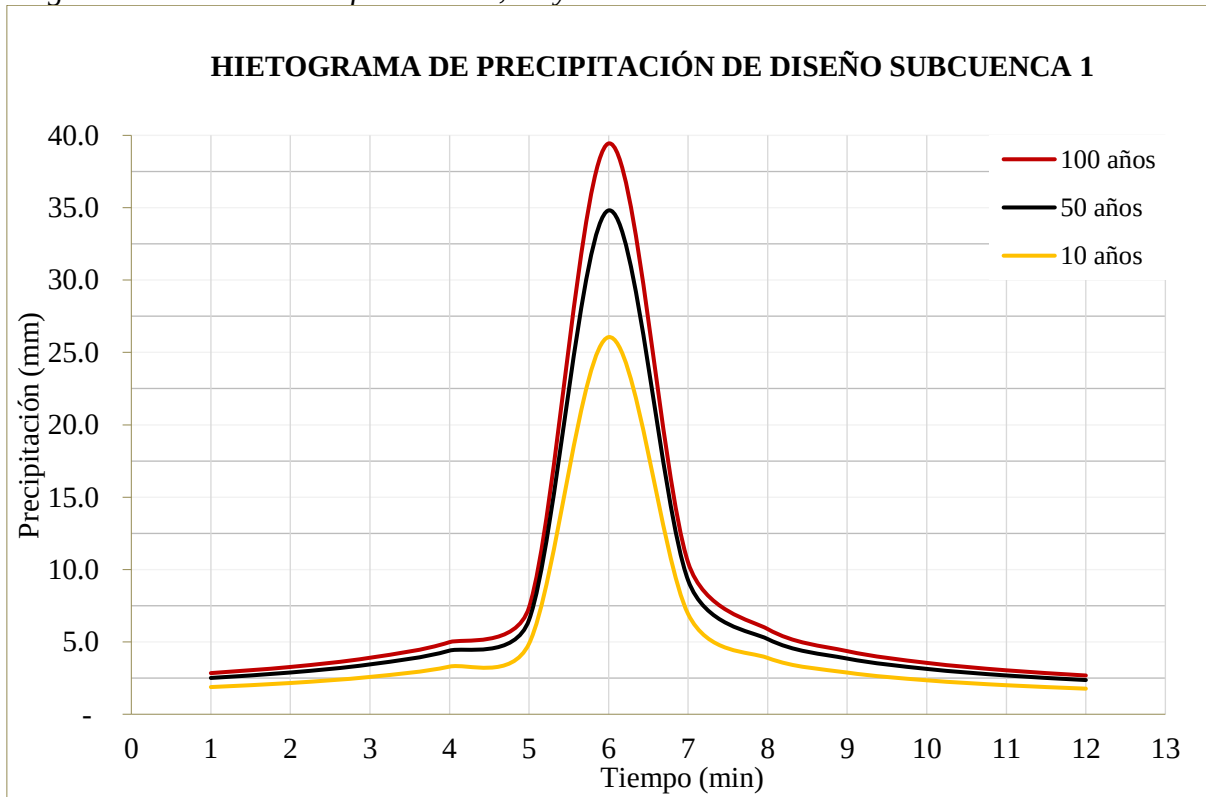
Ilustración 38*Hietograma de Subcuenca-1 para PR 10, 50 y 100 años*

Tabla 21*Hietograma Sub-2 para PR de 10 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-2					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	3.29
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	4.88
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	26.06
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	6.92
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	3.89
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	2.88

Tabla 22*Hietograma Sub-2 para PR de 50 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-2					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	4.40
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	6.51
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	34.81
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	9.25
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	5.20
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	3.85

Tabla 23*Hietograma Sub-2 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-2					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	4.98
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	7.38
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	39.44
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	10.48
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	5.89
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	4.36

Ilustración 39

Hietograma de Subcuenca-2 para PR 10, 50 y 100 años

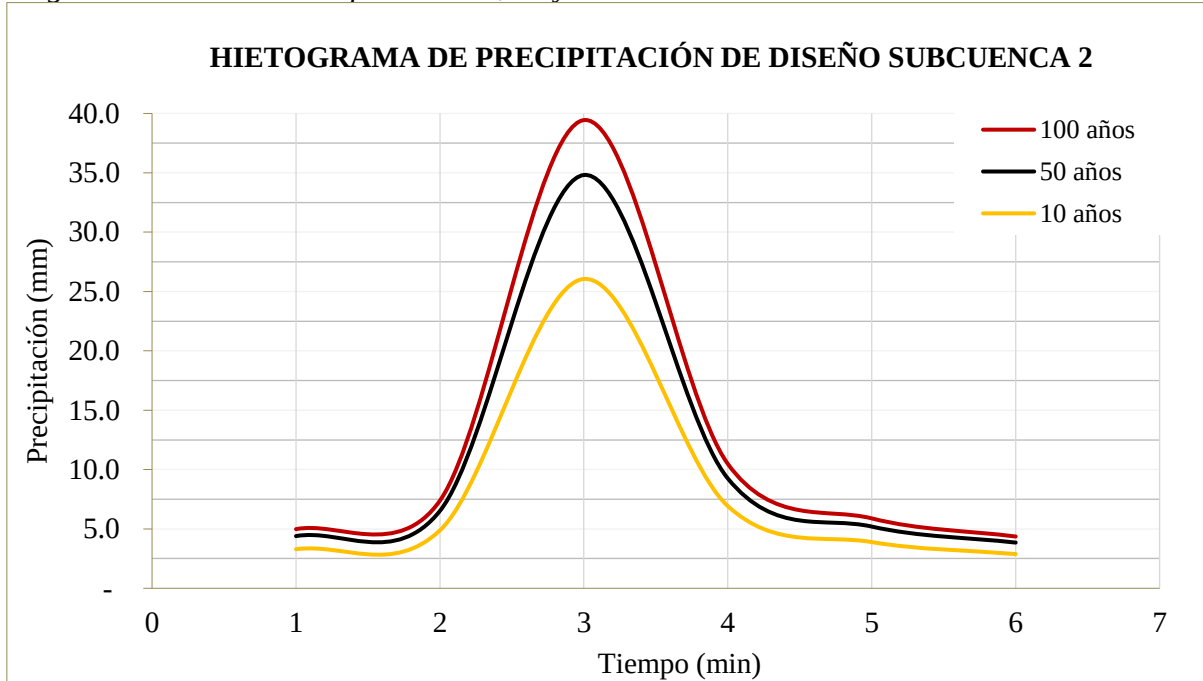


Tabla 24

Hietograma Sub-3 para PR de 10 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-3					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	1.88
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	2.16
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	2.58
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	3.29
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	4.88
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	26.06
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	6.92
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	3.89
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	2.88
10.00	342.04	57.01	2.01	9 - 10	2.35
11.00	321.19	58.88	1.88	10 - 11	2.01
12.00	303.26	60.65	1.77	11 - 12	1.88

Tabla 25*Hietograma Sub-3 para PR de 50 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-3					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	2.51
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	2.88
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	3.44
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	4.40
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	6.51
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	34.81
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	9.25
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	5.20
9.00	489.88	73.48	2.88	8 - 9	3.85
10.00	456.97	76.16	2.68	9 - 10	3.13
11.00	429.11	78.67	2.51	10 - 11	2.68
12.00	405.16	81.03	2.36	11 - 12	2.51

Tabla 26*Hietograma Sub-3 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-3					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	2.84
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	3.27
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	3.90
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	4.98
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	7.38
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	39.44
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	10.48
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	5.89
9.00	554.98	83.25	3.27	8 - 9	4.36
10.00	517.70	86.28	3.04	9 - 10	3.55
11.00	486.14	89.12	2.84	10 - 11	3.04
12.00	459.00	91.80	2.68	11 - 12	2.84

Ilustración 40

Hietograma de Subcuenca-3 para PR 10, 50 y 100 años

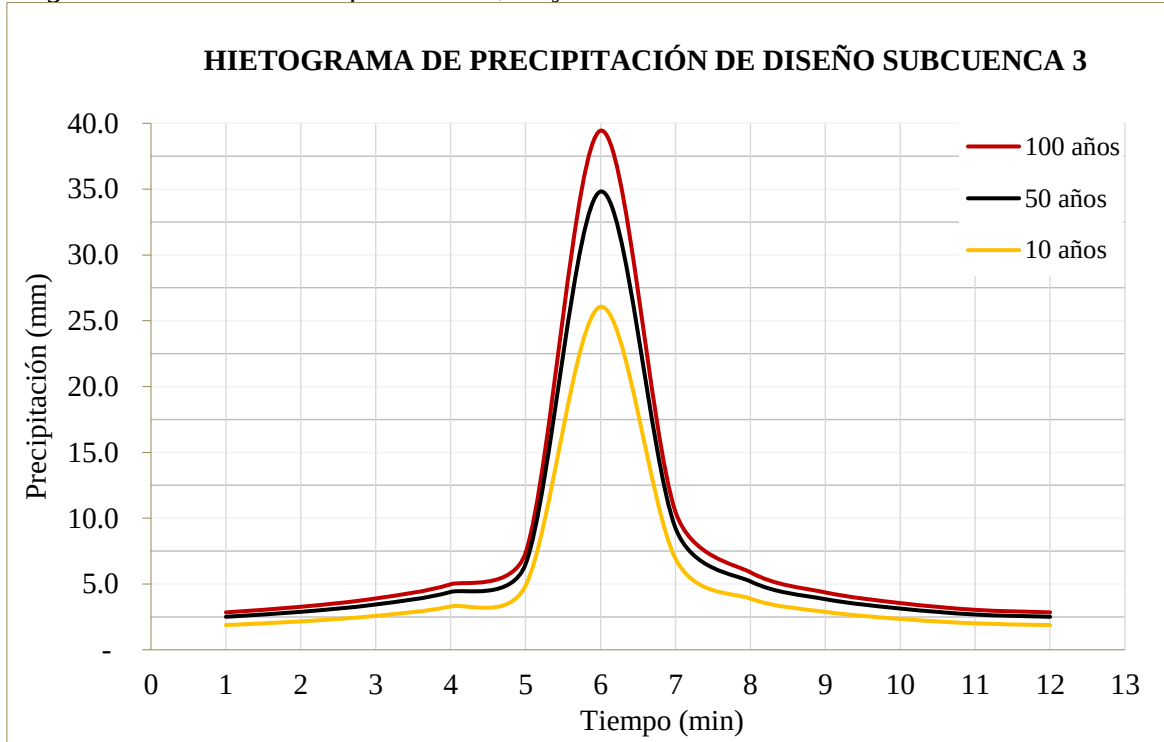


Tabla 27

Hietograma Sub-4 para PR de 10 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-4					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	1.67
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	1.88
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	2.16
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	2.58
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	3.29
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	4.88
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	26.06
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	6.92
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	3.89
10.00	342.04	57.01	2.01	9 - 10	2.88
11.00	321.19	58.88	1.88	10 - 11	2.35
12.00	303.26	60.65	1.77	11 - 12	2.01
13.00	287.66	62.33	1.67	12 - 13	1.77
14.00	273.93	63.92	1.59	13 - 14	1.59

Tabla 28*Hietograma Sub-4 para PR de 50 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-4					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	2.24
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	2.51
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	2.88
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	3.44
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	4.40
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	6.51
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	34.81
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	9.25
9.00	489.88	73.48	2.88	8 - 9	5.20
10.00	456.97	76.16	2.68	9 - 10	3.85
11.00	429.11	78.67	2.51	10 - 11	3.13
12.00	405.16	81.03	2.36	11 - 12	2.68
13.00	384.32	83.27	2.24	12 - 13	2.36
14.00	365.97	85.39	2.12	13 - 14	2.12

Tabla 29*Hietograma Sub-4 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-4					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	2.53
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	2.84
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	3.27
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	3.90
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	4.98
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	7.38
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	39.44
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	10.48
9.00	554.98	83.25	3.27	8 - 9	5.89
10.00	517.70	86.28	3.04	9 - 10	4.36
11.00	486.14	89.12	2.84	10 - 11	3.55
12.00	459.00	91.80	2.68	11 - 12	3.04
13.00	435.39	94.33	2.53	12 - 13	2.68
14.00	414.60	96.74	2.41	13 - 14	2.41

Ilustración 41

Hietograma de Subcuenca-4 para PR 10, 50 y 100 años

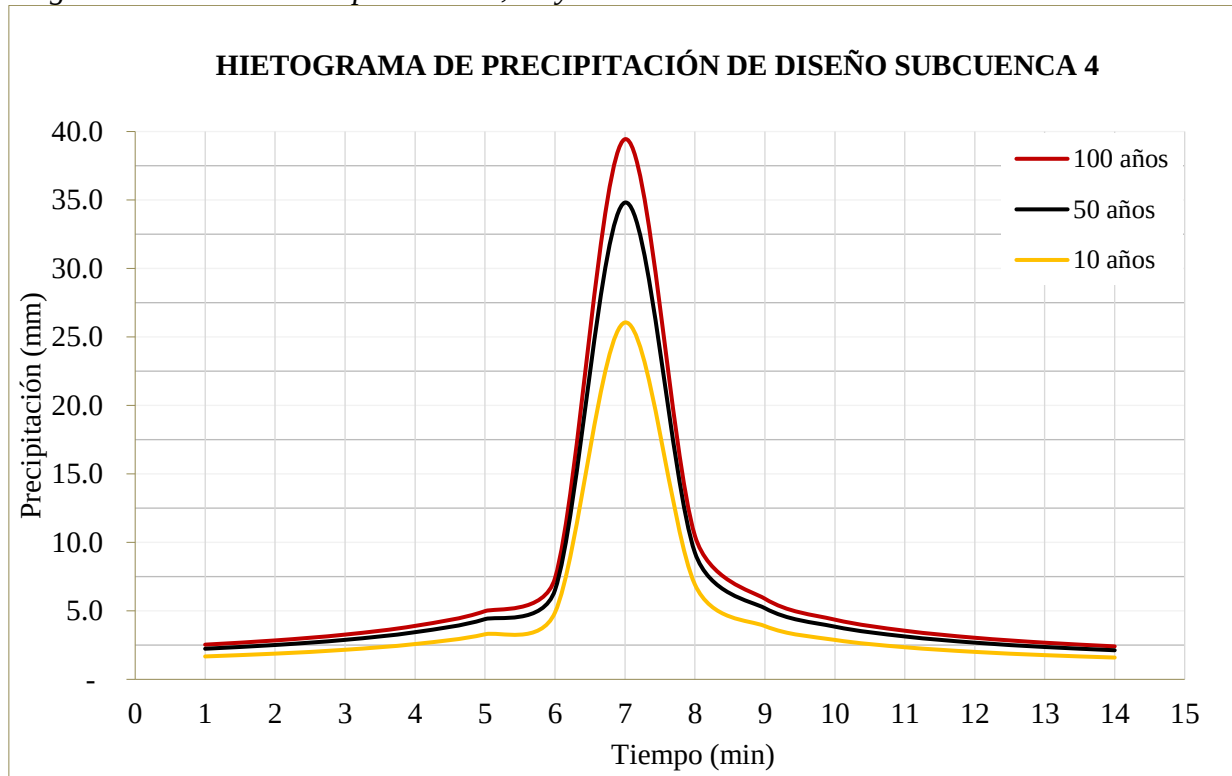


Tabla 30

Hietograma Sub-5 para PR de 10 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-5					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	2.58
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	3.29
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	4.88
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	26.06
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	6.92
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	3.89
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	2.88
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	2.35

Tabla 31*Hietograma Sub-5 para PR de 50 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-5					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	3.44
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	4.40
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	6.51
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	34.81
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	9.25
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	5.20
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	3.85
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	3.13

Tabla 32*Hietograma Sub-5 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-5					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	3.90
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	4.98
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	7.38
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	39.44
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	10.48
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	5.89
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	4.36
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	3.55

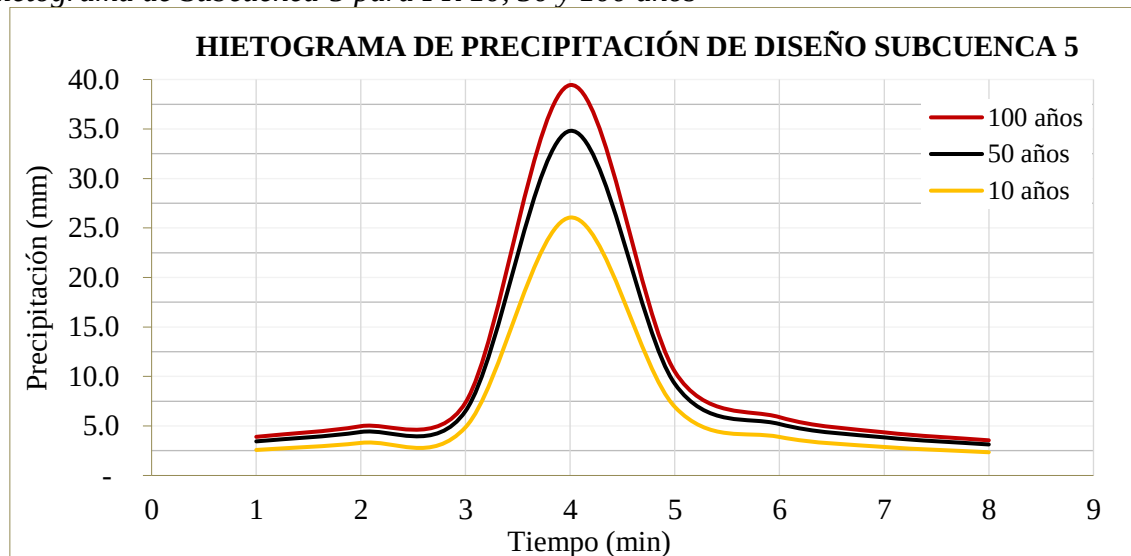
Ilustración 42*Hietograma de Subcuenca-5 para PR 10, 50 y 100 años*

Tabla 33*Hietograma Sub-6 para PR de 10 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-6					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	2.35
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	2.88
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	3.89
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	6.92
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	26.06
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	4.88
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	3.29
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	2.58
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	2.16

Tabla 34*Hietograma Sub-6 para PR de 50 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-6					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	3.13
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	3.85
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	5.20
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	9.25
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	34.81
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	6.51
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	4.40
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	3.44
9.00	489.88	73.48	2.88	8 - 9	2.88

Tabla 35*Hietograma Sub-6 para PR de 100 años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-6					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	3.55
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	4.36
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	5.89
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	10.48
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	39.44
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	7.38
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	4.98
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	3.90
9.00	554.98	83.25	3.27	8 - 9	3.27

Ilustración 43

Hietograma de Subcuenca-6 para PR 10, 50 y 100 años

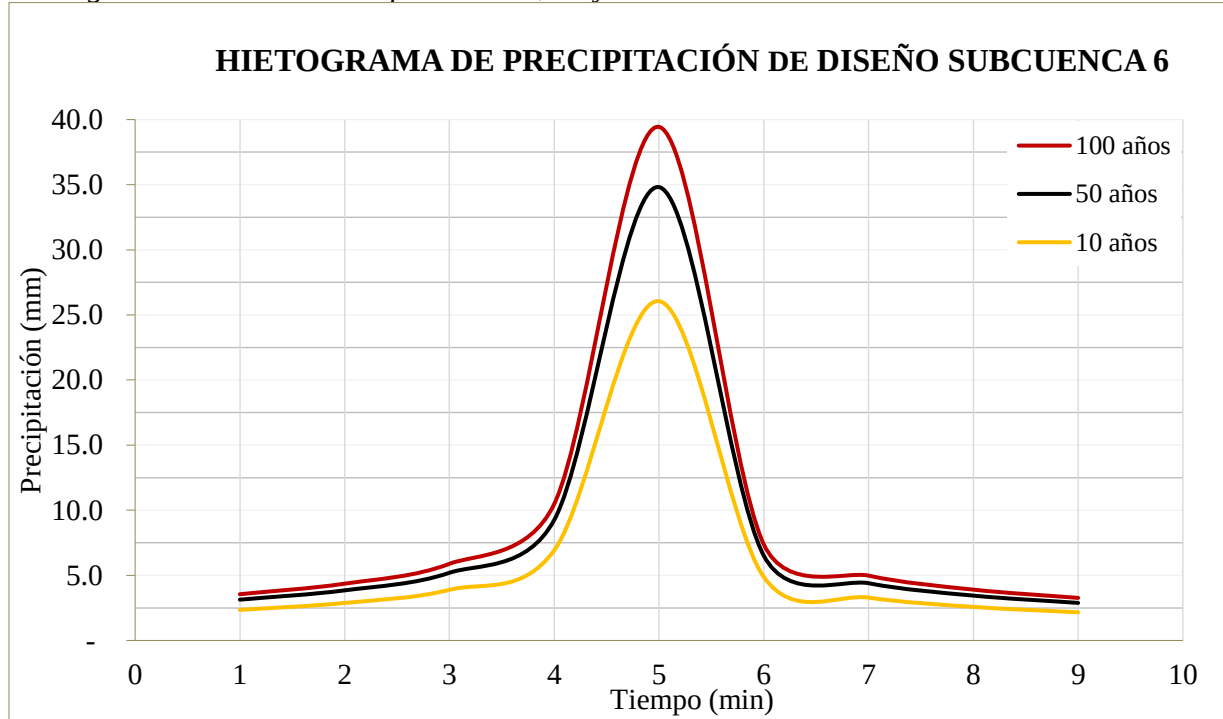


Tabla 36

Hietograma Sub-7 para PR de 10 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-7					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	1563.42	26.06	26.06	0 - 1	1.88
2.00	989.46	32.98	6.92	1 - 2	2.16
3.00	757.14	37.86	4.88	2 - 3	2.58
4.00	626.21	41.75	3.89	3 - 4	3.29
5.00	540.45	45.04	3.29	4 - 5	4.88
6.00	479.18	47.92	2.88	5 - 6	26.06
7.00	432.82	50.50	2.58	6 - 7	6.92
8.00	396.31	52.84	2.35	7 - 8	3.89
9.00	366.67	55.00	2.16	8 - 9	2.88
10.00	342.04	57.01	2.01	9 - 10	2.35
11.00	321.19	58.88	1.88	10 - 11	2.01
12.00	303.26	60.65	1.77	11 - 12	1.77

Tabla 37
Hietograma Sub-7 para PR de 50 años

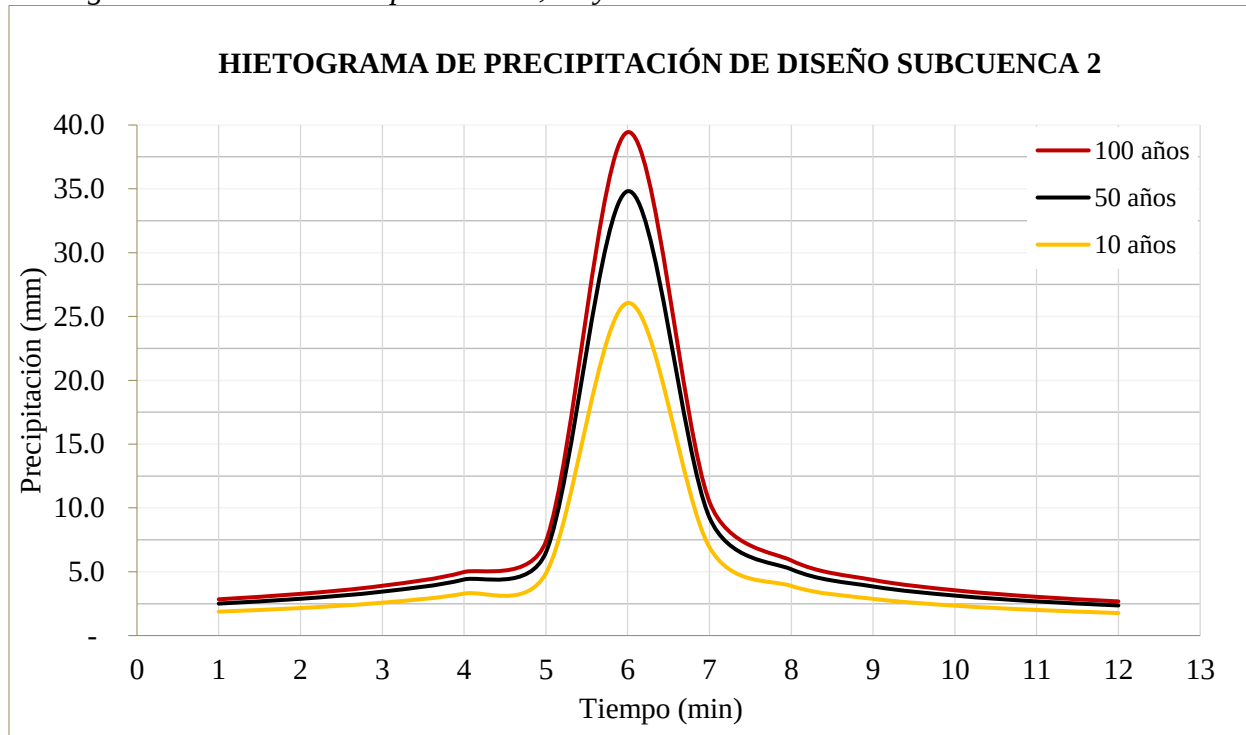
MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-7					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2088.77	34.81	34.81	0 - 1	2.51
2.00	1321.94	44.06	9.25	1 - 2	2.88
3.00	1011.56	50.58	6.51	2 - 3	3.44
4.00	836.63	55.78	5.20	3 - 4	4.40
5.00	722.06	60.17	4.40	4 - 5	6.51
6.00	640.19	64.02	3.85	5 - 6	34.81
7.00	578.26	67.46	3.44	6 - 7	9.25
8.00	529.48	70.60	3.13	7 - 8	5.20
9.00	489.88	73.48	2.88	8 - 9	3.85
10.00	456.97	76.16	2.68	9 - 10	3.13
11.00	429.11	78.67	2.51	10 - 11	2.68
12.00	405.16	81.03	2.36	11 - 12	2.36

Tabla 38
Hietograma Sub-7 para PR de 100 años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO PARA SUB-7					
Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
min	mm/h	mm	mm	min	mm
1.00	2366.34	39.44	39.44	0 - 1	2.84
2.00	1497.60	49.92	10.48	1 - 2	3.27
3.00	1145.98	57.30	7.38	2 - 3	3.90
4.00	947.80	63.19	5.89	3 - 4	4.98
5.00	818.01	68.17	4.98	4 - 5	7.38
6.00	725.26	72.53	4.36	5 - 6	39.44
7.00	655.11	76.43	3.90	6 - 7	10.48
8.00	599.84	79.98	3.55	7 - 8	5.89
9.00	554.98	83.25	3.27	8 - 9	4.36
10.00	517.70	86.28	3.04	9 - 10	3.55
11.00	486.14	89.12	2.84	10 - 11	3.04
12.00	459.00	91.80	2.68	11 - 12	2.68

Tabla 39

Hietograma de Subcuenca-7 para PR 10, 50 y 100 años



Anexo 2, Tablas de hidrogramas de 50 y 100 años de periodo de retorno

Tabla 40

Hidrograma para el periodo de retorno de 50 años

Intervalo		Hidrogramas				
		1	2	3	4	5
(Minutos)	(Segundos)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	180	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	240	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5	300	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
6	360	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1
7	420	0.9	0.1	0.0	0.1	0.1
8	480	0.8	0.2	0.0	0.2	0.2
9	540	0.6	0.3	0.1	0.3	0.2
10	600	0.5	0.4	0.1	0.4	0.2
11	660	0.4	0.6	0.1	0.4	0.2
12	720	0.3	0.7	0.2	0.4	0.2
13	780	0.3	0.8	0.3	0.4	0.2
14	840	0.2	0.8	0.3	0.4	0.1
15	900	0.2	0.8	0.3	0.4	0.1
16	960	0.2	0.7	0.4	0.3	0.1
17	1020	0.2	0.6	0.4	0.3	0.1
18	1080	0.2	0.6	0.4	0.2	0.1
19	1140	0.2	0.5	0.3	0.2	0.0
20	1200	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0
21	1260	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0
22	1320	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0
23	1380	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
24	1440	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
25	1500	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
26	1560	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
27	1620	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
28	1680	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
29	1740	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
30	1800	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

Tabla 41
Hidrograma para el periodo de retorno de 100 años

Intervalo		Hidrogramas				
		1	2	3	4	5
(Minutos)	(Segundos)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	180	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	240	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
5	300	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6	360	1.0	0.0	0.0	0.1	0.1
7	420	1.1	0.1	0.0	0.1	0.1
8	480	1.0	0.2	0.0	0.2	0.2
9	540	0.8	0.4	0.1	0.3	0.3
10	600	0.6	0.6	0.1	0.4	0.3
11	660	0.5	0.7	0.2	0.5	0.3
12	720	0.4	0.9	0.3	0.5	0.3
13	780	0.3	0.9	0.3	0.5	0.2
14	840	0.3	1.0	0.4	0.5	0.2
15	900	0.3	0.9	0.4	0.4	0.1
16	960	0.3	0.9	0.5	0.4	0.1
17	1020	0.3	0.8	0.5	0.3	0.1
18	1080	0.3	0.7	0.5	0.3	0.1
19	1140	0.2	0.6	0.4	0.2	0.0
20	1200	0.2	0.5	0.4	0.2	0.0
21	1260	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0
22	1320	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0
23	1380	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0
24	1440	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
25	1500	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
26	1560	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0
27	1620	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
28	1680	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
29	1740	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
30	1800	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
31	1860	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
32	1920	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
33	1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34	2040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35	2100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0