

Elaboración de estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales, para la inclusión de la gestión del riesgo en la revisión del POT Distrital de Medellín, Antioquia



ANEXO 5

INFORME

HIDRÁULICA

Información general del proyecto

Nombre:	Estudios Básicos Medellín
Objeto:	CONTRATO INTERADMINISTRATIVO DE MANDATO SIN REPRESENTACIÓN LEGAL PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, PARA LA INCLUSIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA REVISIÓN DEL POT DEL DISTRITO ESPECIAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE MEDELLÍN
Vigencia:	28 de febrero de 2025 al 24 de octubre de 2025.
Alcance geográfico:	Distrito de Medellín

Tabla de contenido

1	PRIORIZACIÓN DE CUENCAS	10
1.1	Índices Morfométricos	10
1.1.1	Índice de Melton.....	10
1.1.2	Relación del relieve	12
1.1.3	Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)	14
1.2	Registro de eventos e información secundaria por inundación y avenida torrencial.....	18
1.2.1	Procesamiento y priorización de la información	20
1.2.2	Resultados por avenida torrencial e inundación	21
1.3	Priorización de cuencas	27
1.3.1	Criterios de priorización, fuentes y justificación	27
1.3.2	Mecanismo de asignación de puntajes	28
1.3.3	Tratamiento de registros duplicados.....	29
1.3.4	Tratamiento especial del IVET	29
1.3.5	Sumatoria de puntajes.....	31
2	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	35
2.1	Información utilizada	36
2.1.1	Información cartográfica.....	36
2.1.2	Información hidroclimática	37
2.1.3	Usos del suelo y cobertura vegetal	39
2.1.4	Edafología.....	40
2.2	Procesamiento del Modelo Digital de Terreno (MDT)	41
2.2.1	Construcción del MDT	41
2.2.2	Delimitación de cuencas	43
2.3	Caracterización morfométrica de las cuencas hidrográficas	46
2.4	Estimación de caudales máximos.....	48
2.4.1	Caracterización de la tormenta de diseño	49
2.4.2	Duración de la tormenta	50

2.4.3	Distribución espacial de la tormenta	54
2.4.4	Magnitud de la tormenta	61
2.4.5	Intensidad y magnitud	77
2.4.6	Pérdidas hidrológicas y precipitación efectiva	80
2.4.7	Distribución temporal de la tormenta	89
2.4.8	Cálculo de caudales máximos	91
3	AMENAZA POR INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES – ESTUDIO HIDRÁULICO	103
3.1	Escenarios Hidrológicos	104
3.2	Información Utilizada.....	104
3.2.1	Información Topográfica	104
3.2.2	Información Hidrológica (Caudales de Diseño).....	108
3.3	Diagnóstico - Evaluación Condiciones Existentes – Zona Urbana y Corregimientos ...	108
3.3.1	Parámetros De Entrada Modelo 2D.....	109
3.3.2	Visualización de la geometría	119
3.3.3	Resultados	122
4	BIBLIOGRAFÍA	128

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Índice de Melton en la zona de interés.	12
Ilustración 2. Relación de Relieve en la zona de interés.	14
Ilustración 3. Índice de Vulnerabilidad a eventos Torrenciales – IVET en zona de interés.	17
Ilustración 4. Distribución del número de quebradas con registro de torrencialidad consideradas en los estudios analizados.	19
Ilustración 5. Distribución del número de quebradas con registro de inundación consideradas en los estudios analizados.	19
Ilustración 6. Porcentaje de área en amenaza alta por avenidas torrenciales, asociado a las quebradas según POT (Acuerdo 048 de 2014).	21
Ilustración 7. Porcentaje de área en amenaza alta y media por avenidas torrenciales, asociado a las quebradas según POMCA Río Aburrá.	22
Ilustración 8. Reporte de eventos a partir de visitas de inspección por avenida torrencial según DAGRD.	22
Ilustración 9. Numero de eventos reportados por avenida torrencial por la base de datos de emergencias de la UNGRD.	23
Ilustración 10. Zonas con condición de riesgo – zona urbana. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.	23
Ilustración 11. Zonas con condición de riesgo – zona rural. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.	24
Ilustración 12. Porcentaje de área en amenaza alta y media por inundación, asociado a las quebradas según POT (Acuerdo 048 de 2014).	25
Ilustración 13. Reporte de eventos a partir de visitas de inspección por inundación según DAGRD.	25
Ilustración 14. Numero de eventos reportados por inundación por la base de datos de emergencias de la UNGRD.	26
Ilustración 15. Zonas con condición de riesgo – zona urbana. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.	26
Ilustración 16. Zonas con condición de riesgo – zona rural. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por Corregimiento/barrio.	27
Ilustración 17. Mapa de información cartográfica empleada para el análisis hidrológico	37
Ilustración 18. Estaciones pluviométricas en la zona de estudio y polígonos de Thiessen	38

Ilustración 19. Mapa de Coberturas	39
Ilustración 20. Mapa de unidades de suelo en el área de interés	40
Ilustración 21. Mapa del MDT hidrológicamente corregido	43
Ilustración 22. Mapa de delimitación de las cuencas hidrográficas priorizadas.....	46
Ilustración 23. Esquematzación del proceso de estimación de caudales máximos	49
Ilustración 24. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años	62
Ilustración 25. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años	62
Ilustración 26. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años	62
Ilustración 27. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años	63
Ilustración 28. Curvas IDF para las estaciones San Cristóbal y Fabricato	63
Ilustración 29. Curvas IDF para las estaciones Chorrillos y Mazo	64
Ilustración 30. Curvas IDF para las estaciones Villa Hermosa y Gerona.....	64
Ilustración 31. Curvas IDF para las estaciones Astillero y Vasconia.....	64
Ilustración 32. Curvas IDF para las estaciones San Antonio de Prado y Medellín	65
Ilustración 33. Curvas IDF para la estación Ayurá	65
Ilustración 34. Ajuste logarítmico y potencial para un evento de duración de 480 minutos en la estación 2701037 (Fabricato) en el Escenario IDF 3	76
Ilustración 35. Ajuste logarítmico y potencial para un evento de duración de 30 minutos en la estación 2701046 (San Cristóbal) – En el Escenario IDF 1	76
Ilustración 36. Curvas IDF para las estaciones Llanos de San Juan y El Chuscal	77
Ilustración 37. Mapa de número de curva.....	83
Ilustración 38. Aguacero de diseño en la quebrada La Presidenta	89
Ilustración 39. Aguacero de diseño en la quebrada Ana Díaz	90
Ilustración 40. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_R 2 años (izquierda) y 10 años (derecha).	91
Ilustración 41. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_R 50 años (izquierda) y 100 años (derecha).	91
Ilustración 42. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_R 200 años (izquierda) y 500 años (derecha).	92

Ilustración 43. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para Tr 2 años (izquierda) y 10 años (derecha).....	92
Ilustración 44. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para Tr 50 años (izquierda) y 100 años (derecha).	93
Ilustración 45. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para Tr 200 años (izquierda) y 500 años (derecha).	93
Ilustración 46. Superficie del terreno utilizada en modelación hidráulica (LIDAR 1 m x 1 m)	105
Ilustración 47. Secciones transversales en modelación hidráulica	106
Ilustración 48. Regiones con n de Manning para el escenario evaluado	113
Ilustración 49. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Iguañá.	119
Ilustración 50. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada Malpaso ..	120
Ilustración 51. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Quintana	120
Ilustración 52. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Cantera (Ramal Sur)	121
Ilustración 53. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Madera	121
Ilustración 54. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para Q. Doña María y La Presidenta	122
Ilustración 55. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para Q. Santa Elena y La Hueso	122
Ilustración 56. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada La Presidenta	125
Ilustración 57. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada La Presidenta	125
Ilustración 58. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada Doña María	126
Ilustración 59. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada Doña María ..	126
Ilustración 60. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada La Iguañá	127
Ilustración 61. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada La Iguañá	127

Lista de Tablas

Tabla 1. Índice de Melton en las diferentes cuencas analizadas.....	11
Tabla 2. Índice Relación de Relieve en las diferentes vertientes analizadas.	13
Tabla 3. Relaciones para categorizar el índice morfométrico (IDEAM, 2013).	15

Tabla 4. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales – (IVET) (IDEAM, 2013).	16
Tabla 5. Resultados en el cálculo de IVET para las diferentes vertientes.	17
Tabla 6. Criterios de priorización, fuentes y justificación técnica.	27
Tabla 7. Escala de puntaje por criterio.	29
Tabla 8. Conversión del IVET cualitativo a puntaje numérico.	29
Tabla 9. Variabilidad del puntaje IVET según número de categorías por quebrada.	30
Tabla 10. Quebradas priorizadas.	31
Tabla 11. Descomposición del puntaje acumulado – Q. Santa Elena.	33
Tabla 12. Información de curvas de nivel utilizada	36
Tabla 13. Estaciones con información de precipitación	37
Tabla 14. Ubicación de los puntos de cierre de las cuencas priorizadas. MAGNA Sirgas Origen Nacional.	44
Tabla 15. Parámetros morfométricos de las cuencas priorizadas	47
Tabla 16. Tiempos de concentración obtenidos para las cuencas priorizadas	52
Tabla 17. Áreas de influencia de las estaciones con información IDF para cada cuenca (km ²)	55
Tabla 18. Porcentaje de áreas de influencia de las estaciones con información IDF para cada cuenca (%)	58
Tabla 19. Parametrización de curvas IDF para diferentes periodos de retorno.	66
Tabla 20. Valores de intensidad de lluvia (mm/hora) para diferentes periodos de retorno	77
Tabla 21. Valores de profundidad de lluvia (mm) para diferentes periodos de retorno	79
Tabla 22. Relación entre las coberturas clasificadas según la metodología “Corine Land Cover” y la clasificación de coberturas del NRCS	80
Tabla 23. Clasificación hidrológica del suelo.	81
Tabla 24. Número de curva, pérdidas hidrológicas y precipitación efectiva en las cuencas priorizadas.	84
Tabla 25. Valores de precipitación efectiva (mm) para diferentes periodos de retorno.	85
Tabla 26. Coeficiente de escorrentía estimado para las cuencas priorizadas.	87
Tabla 27. Caudales máximos (m ³ /s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Snyder.	93

Tabla 28. Caudales máximos (m^3/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de NRCS	95
Tabla 29. Caudales máximos (m^3/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Williams y Hann	97
Tabla 30. Caudales máximos (m^3/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Clark	98
Tabla 31. Caudales máximos (m^3/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Racional	100
Tabla 32. Tamaño malla utilizada en el modelo 2D.....	106
Tabla 33. Coeficientes de rugosidad n de Manning.....	110
Tabla 34. Condiciones de borde en los diferentes modelos elaborados.....	115
Tabla 35. Paso de tiempo utilizado en los modelos hidráulicos.....	117

1 PRIORIZACIÓN DE CUENCAS

Como parte fundamental en el proceso de estimación de la amenaza por inundación y avenidas torrenciales es necesario llevar a cabo la clasificación y priorización de cuencas, especialmente en lo que respecta a la respuesta torrencial que se pueda presentar en las diferentes cuencas objeto de estudio. Para ello, se consideran múltiples factores que califican una cuenca torrencial, partiendo inicialmente de parámetros morfométricos propios, y complementándose con factores geológicos, geomorfológicos regionales y climáticos, tales como lluvias intensas en períodos cortos (CORNARE, 2012, mencionado en Vera y Valderrama, 2020). En consecuencia, es necesario realizar un proceso de clasificación y priorización de cuencas que permita definir las vertientes objeto de estudio dentro de los estudios básicos de amenaza por inundación y avenidas torrenciales en el distrito de Medellín.

Esta clasificación se realiza a partir de índices morfométricos, como el índice de Melton, la Relación de Relieve y el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET); y del análisis de la información secundaria disponible y registro de eventos históricos. El análisis completo de esta temática se presenta en el documento Anexo3_PriorizacionCuencas, el cual fue ajustado según las recomendaciones del equipo supervisor.

1.1 Índices Morfométricos

El cálculo de índices morfométricos tiene como finalidad analizar las características morfológicas de las cuencas que han presentado antecedentes de torrencialidad o evidencias geomorfológicas, con el objetivo de establecer un orden respecto a su grado de torrencialidad y tipificar los posibles tipos de flujos generados. Este análisis también debe aplicarse a aquellas cuencas que, aunque carecen de registros históricos o evidencias geomorfológicas de torrencialidad, son consideradas prioritarias por el Municipio debido a la presencia de centros poblados en sus zonas de tránsito o depósito, o por criterios establecidos por expertos.

1.1.1 Índice de Melton

En Colombia, el rango del índice de Melton se encuentra entre 0,15 y 0,91 para cuencas con ocurrencia de flujos de detritos y flujos de lodos (SGC, 2021), y 0,06 y 0,50 para cuencas con desarrollo de flujos hiperconcentrados. En este sentido, las cuencas con predominancia de flujos hiperconcentrados presentan valores muy por debajo del rango propuesto por Wilford et al. (2004) (0,30-0,60) incluyendo también rangos de cuencas con desarrollo de inundaciones ($< 0,30$). Por otra parte, las cuencas con predominancia de flujos de detritos en Colombia presentan un rango amplio

del índice de Melton, incluyendo los valores propuestos por Wilford et al. (2004) para cuencas con flujos de detritos ($> 0,60$), flujos hiperconcentrados y cuencas con predominancia de inundaciones.

En la Ilustración 1, se muestran los resultados en el cálculo del Índice de Melton para las diferentes cuencas evaluadas. Para esto, se subdividió el territorio en un total de ochenta y siete (87) puntos de control con la finalidad de evaluar las principales vertientes que hacen parte del Distrito de Medellín. En la Tabla 1, se presentan los resultados numéricos para el cálculo del Índice de Melton para las diferentes cuencas analizadas a lo largo del territorio de interés.

Tabla 1. Índice de Melton en las diferentes cuencas analizadas.

ID	Cuenca	Me	Categoría	ID	Cuenca	Me	Categoría
1	Q. Zúñiga	1,24	Torrencial	21	Q. La Hueso	0,54	Torrencial
2	Q. La Volcana	1,1	Torrencial	22	Q. La Seca	0,52	Torrencial
3	Q. El Hato	0,88	Torrencial	23	Q. Miserenga	0,51	Torrencial
4	Q. La Gómez	0,83	Torrencial	24	Q. La Presidenta	0,5	Torrencial
5	Q. La Aguacatala	0,73	Torrencial	25	Q. La Sucia	0,49	Torrencial
6	Q. La Madera	0,72	Torrencial	26	Q. La Iguaná	0,48	Torrencial
7	Q. La Puerta - Borbollona	0,72	Torrencial	27	Q. La Frisola	0,45	Torrencial
8	Q. Cantera Sur	0,68	Torrencial	28	Q. El Ñato	0,45	Torrencial
9	Q. La Quintana	0,68	Torrencial	29	Q. Ana Díaz	0,42	Torrencial
10	Q. La Malpaso	0,67	Torrencial	30	Q. Santa Elena	0,42	Torrencial
11	Q. El Ahorcado	0,67	Torrencial	31	Q. Doña María	0,42	Torrencial
12	Q. La Rafita - Chorro Hondo	0,67	Torrencial	32	Q. Potreritos	0,4	Torrencial
13	Q. La Escopetería	0,67	Torrencial	33	Q. La Astillera	0,39	Torrencial
14	Q. La Poblada	0,65	Torrencial	34	Q. La Pelahueso	0,38	Torrencial
15	Q. Cañavalejo - Zancudo	0,63	Torrencial	35	Q. La Picacha	0,38	Torrencial
16	Q. La Hondita	0,63	Torrencial	36	Q. La Guayabala	0,31	Torrencial
17	Q. Paulita	0,6	Torrencial	37	Q. Altavista	0,29	Torrencial
18	Q. La Moñonga	0,57	Torrencial	38	Q. Piedras Blancas	0,09	Inundación
19	Q. La Lejía	0,56	Torrencial	39	Q. Piedra Gorda	0,09	Inundación
20	Q. La Chorrera - Molino	0,56	Torrencial	-	-	-	-

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

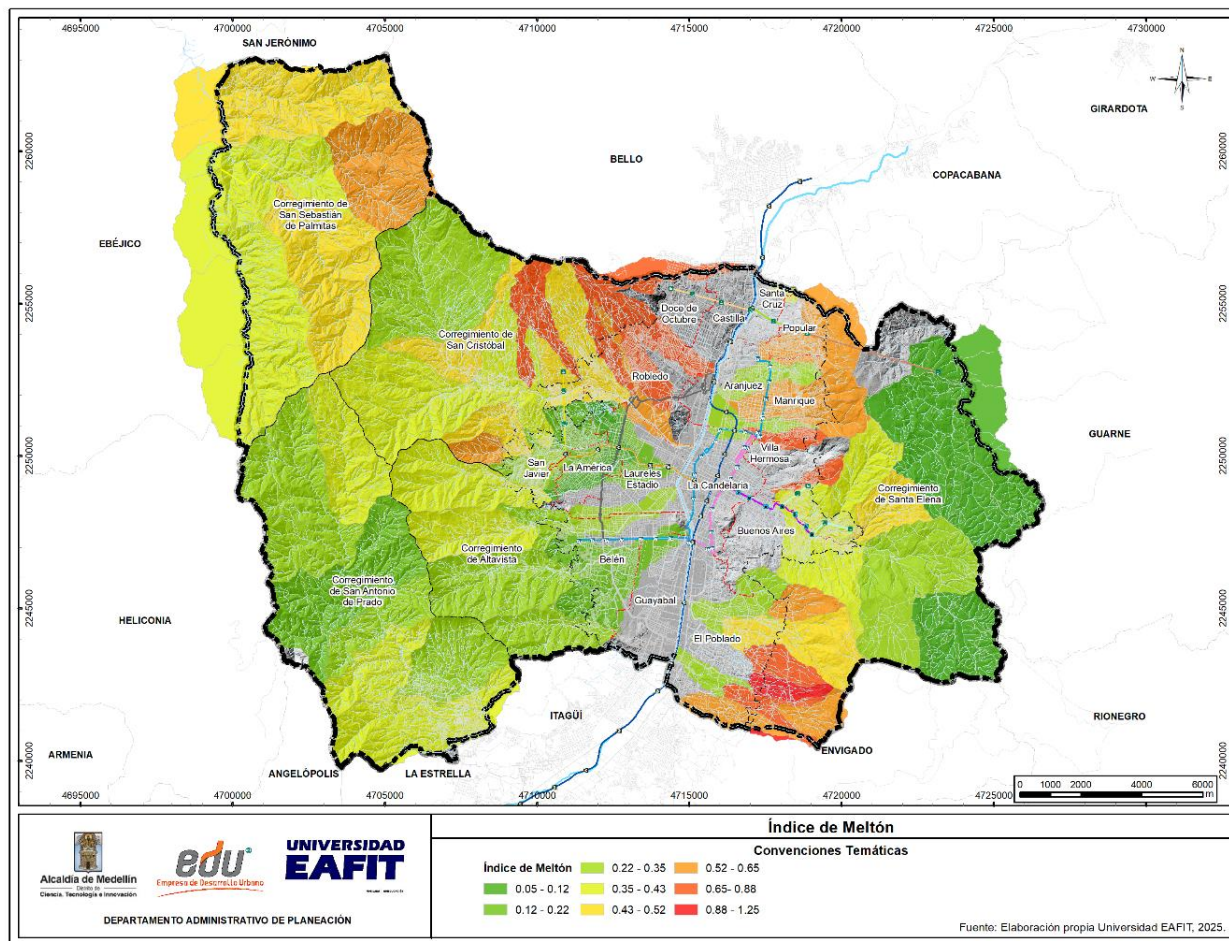


Ilustración 1. Índice de Melton en la zona de interés.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.1.2 Relación del relieve

Schumm (1956) propuso el análisis del relieve de una cuenca a través de la relación de relieve, el cual permite la comparación entre cuencas a pesar de las diferencias de escala topográfica; además, es un parámetro usado para describir la movilidad de material desde su punto de inicio hasta su frente de disposición (Chen y Yu, 2011, mencionado en SGC, 2021). Este índice se define como la relación entre la diferencia de la cota máxima y mínima (relieve) [km] y la longitud de la cuenca [km] (Wilford et al., 2004, mencionado en SGC, 2021).

En cuanto al índice Relación del Relieve, también se realizó el cálculo numérico para las diferentes vertientes, encontrando los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Índice Relación de Relieve en las diferentes vertientes analizadas.

ID	Cuenca	Ir	Categoría	ID	Cuenca	Ir	Categoría
1	Q. La Volcana	0,35	Torrencial	20	Q. La Rafita - Chorro Hondo	0,25	Torrencial
2	Q. La Lejía	0,35	Torrencial	21	Q. La Gómez	0,24	Torrencial
3	Q. La Poblada	0,34	Torrencial	22	Q. La Iguaá	0,24	Torrencial
4	Q. Zúñiga	0,34	Torrencial	23	Q. La Chorrera - Molino	0,24	Torrencial
5	Q. La Aguacatala	0,33	Torrencial	24	Q. Santa Elena	0,24	Torrencial
6	Q. La Seca	0,32	Torrencial	25	Q. La Pelahueso	0,23	Torrencial
7	Q. Cañaveralejo - Zancudo	0,32	Torrencial	26	Q. Paulita	0,22	Torrencial
8	Q. La Hueso	0,32	Torrencial	27	Q. La Madera	0,21	Torrencial
9	Q. La Escopetería	0,32	Torrencial	28	Q. La Astillera	0,21	Torrencial
10	Q. La Hondita	0,31	Torrencial	29	Q. Doña María	0,21	Torrencial
11	Q. La Sucia	0,29	Torrencial	30	Q. Cantera Sur	0,2	Torrencial
12	Q. La Frisola	0,29	Torrencial	31	Q. La Quintana	0,2	Torrencial
13	Q. El Ñato	0,29	Torrencial	32	Q. La Malpaso	0,2	Torrencial
14	Q. Ana Díaz	0,28	Torrencial	33	Q. La Picacha	0,2	Torrencial
15	Q. La Puerta - Borbollona	0,27	Torrencial	34	Q. Altavista	0,17	Torrencial
16	Q. El Hato	0,26	Torrencial	35	Q. La Moñonga	0,15	Inundación
17	Q. La Presidenta	0,26	Torrencial	36	Q. La Guayabala	0,15	Torrencial
18	Q. El Ahorcado	0,25	Torrencial	37	Q. Piedras Blancas	0,06	Inundación
19	Q. Potreritos	0,25	Torrencial	38	Q. Piedra Gorda	0,06	Inundación

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

El rango de valores de la relación de relieve para cuencas que presentan flujos de detritos está entre 0,15 y 0,70 (Chen y Yu, 2011; de Scally et al., 2010; Khan et al., 2013, mencionados en SGC, 2021), mientras que para flujos hiperconcentrados se encuentra entre 0,21 y 0,22 (Ouellet y Germain, 2014). Para Colombia se encontraron valores entre 0,08 y 0,43 para cuencas con desarrollo de flujos de detritos, entre 0,08 y 0,27 para cuencas con flujos de lodos y entre 0,03 y 0,27 para cuencas con ocurrencia de flujos hiperconcentrados (SCS, 2021). En la Ilustración 2, se presenta la distribución de la Relación de Relieve en el área estudiada y donde presenta un comportamiento similar al estimado a partir del Índice de Melton. Dada la clasificación del índice según la literatura disponible, se puede asociar una respuesta torrencial para valores de Relación de Relieve superiores a 0,15.

Ilustración 2.Relación de Relieve en la zona de interés.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.1.3 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)

En los lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA, realizado por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; se encuentra el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) el cual fue desarrollado con el fin de delimitar áreas que pueden verse afectadas por eventos de origen torrencial, identificando cuencas con alta susceptibilidad (IDEAM, 2013, mencionado en Vera y Valderrama, 2020). La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométricos de torrencialidad e índice de variabilidad, de acuerdo con lo dispuesto por el IDEAM, 2013.

El Índice morfométrico de torrencialidad es la relación entre parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la manera en la que se concentra la escorrentía, la posibilidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un

evento de precipitación y con ello inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009).

El Índice de variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan y los valores máximos.

Para categorizar el índice morfométrico se tienen en cuenta 3 variables morfométricas; la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de compacidad o de forma. Mientras mayores sean los valores de este índice, mayor será la posibilidad que en la cuenca se presenten procesos torrenciales. En la Tabla 3 se muestran los rangos de la clasificación de los parámetros y se relacionan las variables según las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros indicados.

Tabla 3. Relaciones para categorizar el índice morfométrico (IDEAM, 2013).

Indices morfométrico	Escala	Área de La Cuenca (km ²)	Categoría				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Media	Media a Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 - 1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Cálculo de Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET): Se determina con una matriz de correlación entre el índice morfométrico de torrencialidad y el índice de variabilidad de caudales de la dada en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales – (IVET) (IDEAM, 2013).

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

En el proceso del cálculo del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales – (IVET), se utilizó el cálculo del índice de variabilidad de las principales cuencas que hacen parte del territorio evaluado y que fueron presentadas dentro del documento: PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ – POMCA, desarrollado por la empresa CAP INGENIERÍA S.A.S. para CORANTIOQUIA – CORNARE – ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ – AMVA, y para el MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, en el año 2018. Posteriormente y teniendo en consideración las características morfométricas de las cuencas, se realizó el cálculo y clasificación del índice morfométrico para la estimación final del Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales – IVET.

Teniendo en cuenta que para este análisis se parte del Índice de Variabilidad tomado del POMCA, 2018, no se realiza el cálculo del IVET para las cuencas que se encuentran por fuera de la cuenca del río Aburrá, especialmente para las cuencas ubicadas en el corregimiento de Palmitas y que hacen parte de la quebrada La Sucia, vertiente que drena hacia el río Cauca en límites con los municipios de San Jerónimo y Ebéjico. Los resultados en el cálculo del IVET son mostrados en la Ilustración 3.

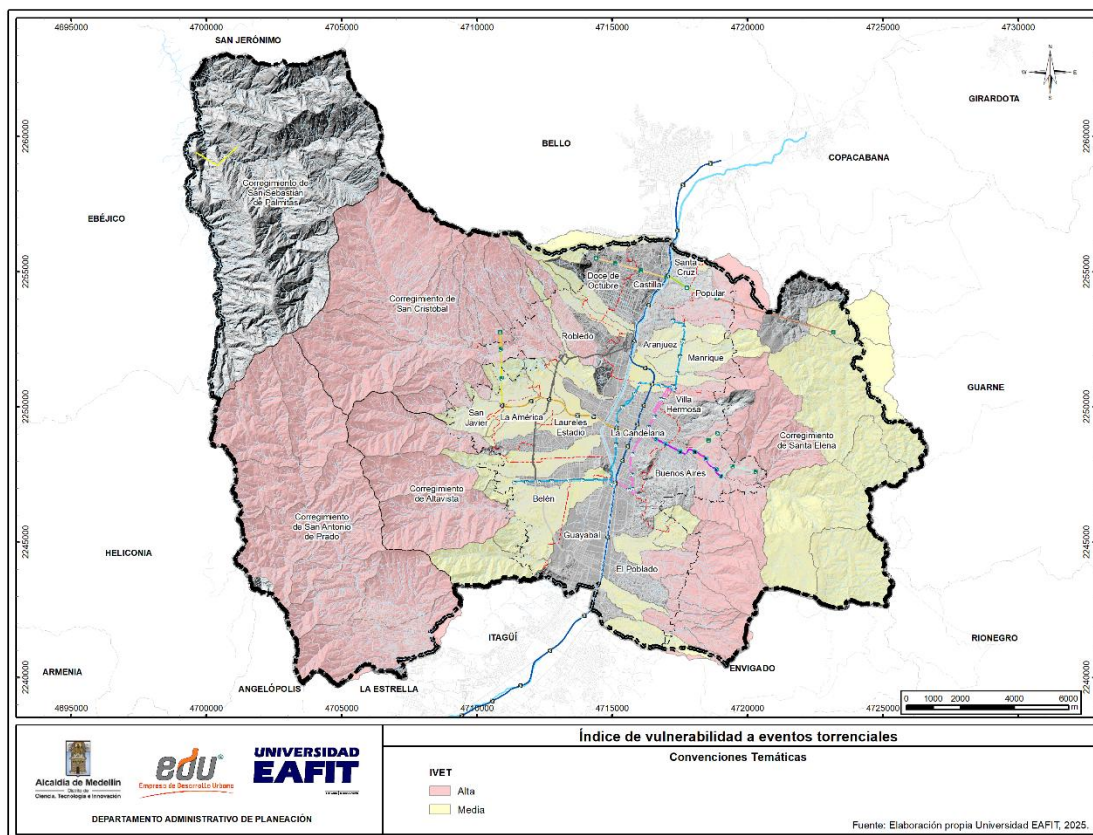


Ilustración 3. Índice de Vulnerabilidad a eventos Torrenciales – IVET en zona de interés.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Adicionalmente, en la Tabla 5 se presenta la clasificación de cada cuenca evaluada según el resultado obtenido del IVET.

Tabla 5. Resultados en el cálculo de IVET para las diferentes vertientes.

ID	Cuenca	IVET	ID	Cuenca	IVET
1	Q. La Sucia	Alta	27	Q. Altavista	Alta
2	Q. Miserenga	Alta	28	Q. La Castro	Alta
3	Q. La Volcana	Alta	29	Q. La Escopetería	Alta
4	Q. La Lejía	Alta	30	Q. La Presidenta	Alta
5	Q. La Frisola	Alta	31	Q. La Aguacatala	Alta
6	Q. La Iguaná	Alta	32	Q. Zúñiga	Alta
7	Q. La Seca	Alta	33	Q. La Limona	Alta
8	Q. Cañavalejo - Zancudo	Alta	34	Q. La Seca	Media
9	Q. La Puerta	Alta	35	Q. La Madera	Media

ID	Cuenca	IVET	ID	Cuenca	IVET
10	Q. El Hato	Alta	36	Q. Cantera Sur	Media
11	Q. La Gómez	Alta	37	Q. La Quintana	Media
12	Q. La Malpaso	Alta	38	Q. Piedras Blancas	Media
13	Q. La Hondita	Alta	39	Q. La Chorrera - Molino	Media
14	Q. La Pelahueso	Alta	40	Q. La Bermejala	Media
15	Q. El Ahorcado	Alta	41	Q. La Moñonga	Media
16	Q. La Leonarda	Alta	42	Q. La Hueso	Media
17	Q. La Hueso	Alta	43	Q. El Salado	Media
18	Q. Potreritos	Alta	44	Q. Piedra Gorda	Media
19	Q. La Rafita - Chorro Hondo	Alta	45	Q. La Picacha	Media
20	Q. Ana Díaz	Alta	46	Q. La Poblada	Media
21	Q. La Astillera	Alta	47	Q. La Guayabala	Media
22	Q. Doña María	Alta	48	Q. La Presidenta	Media
23	Q. El Ñato	Alta	49	Q. Santa Elena	Media
24	Q. La Picacha	Alta	50	Q. La Aguacatala	Media
25	Q. Santa Elena	Alta	51	Q. Paulita	Media
26	Q. La Poblada	Alta	-	-	-

Al estimar el IVET, puede clasificarse el área de interés en cuencas de Alta y Media vulnerabilidad, sin presentarse cuencas con baja vulnerabilidad. Estos resultados se evalúan de forma conjunta en cuanto a los diferentes índices morfométricos y así clasificar y priorizar las diferentes cuencas que serán objeto de estudio en la zonificación de la amenaza por inundación y avenidas torrenciales en el Distrito de Medellín.

Se destaca que, en las cuencas en las que no fue posible determinar el IVET se asumió un valor de vulnerabilidad alta.

1.2 Registro de eventos e información secundaria por inundación y avenida torrencial

Como parte del análisis de clasificación y priorización de las cuencas que se encuentran en el territorio del Distrito de Medellín, se hizo la revisión de información disponible en cuanto a registros de eventos de inundación y avenidas torrenciales, y las manchas de amenaza asociada a cada tipo de fenómeno. Esta información fue tomada de la base de datos de la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres – UNGRD y el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres – DAGRD del Distrito de Medellín. Dentro de este análisis, también se incluyó la información relacionada con las zonas de amenaza media y alta por avenida torrencial e inundación, establecidas dentro del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Medellín – Acuerdo 048 de 2014 y la información proporcionada por el POMCA del Río Aburrá por avenida torrencial, parte de esta información pudo clasificarse de acuerdo con las corrientes naturales presentes en cada

estudio. Cabe destacar que, aunque algunas quebradas puedan repetirse en los registros, se tomó un dato único sin información duplicada (ver Ilustración 4).

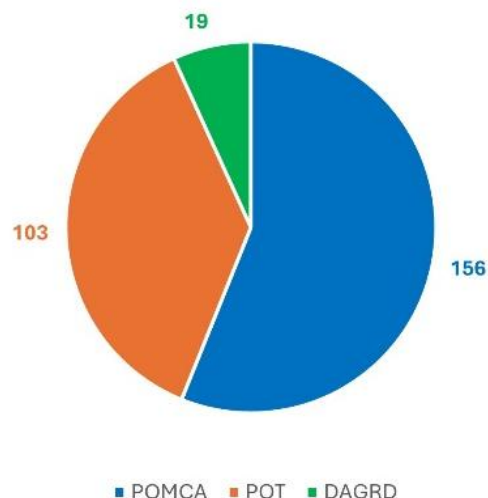


Ilustración 4. Distribución del número de quebradas con registro de torrencialidad consideradas en los estudios analizados.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

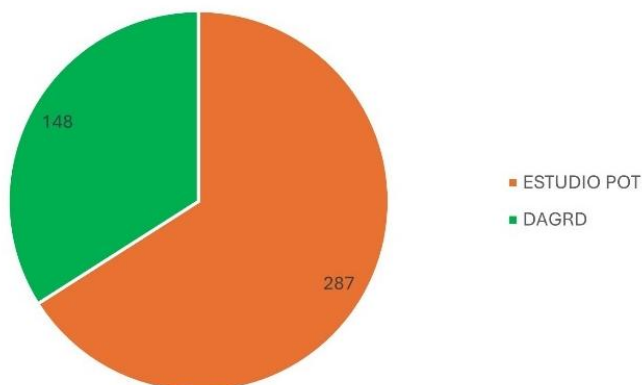


Ilustración 5. Distribución del número de quebradas con registro de inundación consideradas en los estudios analizados.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.2.1 Procesamiento y priorización de la información

La información recopilada fue organizada y procesada de acuerdo con la disponibilidad presente en cada uno de los estudios y se abordó de manera diferencial teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Clasificación por tipo de evento: Los eventos fueron clasificados en dos categorías principales, avenidas torrenciales e inundaciones.

Priorización por amenaza: Se analizaron las manchas de amenaza media y alta reportadas en los mapas e información cartográfica correspondientes a los estudios del POT (Acuerdo 048 de 2014) y el POMCA del Río Aburrá, aplicables al distrito de Medellín. Asimismo, se revisaron las zonas urbanas y rurales con condición de riesgo por avenida torrencial e inundación, definidas como aquellas áreas de amenaza alta que presentan ocupación, urbanización o presencia de infraestructura vial, de servicios públicos o equipamientos. Aunque estos análisis permitieron identificar la cantidad de áreas ocupadas en amenaza alta, para el proceso de priorización que se está llevando a cabo únicamente se consideraron las manchas de amenaza.

Los análisis que se muestran en la Ilustración 10, Ilustración 11, Ilustración 15, e Ilustración 16 para las zonas con condición de riesgo, se realizaron con la totalidad de las quebradas y barrios proporcionados por la información secundaria extraída del POT (Acuerdo 048 de 2014). Para fines ilustrativos solo se tuvieron en cuenta las 10 primeras quebradas seleccionadas, el análisis completo de esta información se relaciona en el documento anexo ZCR_Urbano_Rural.

Información suministrada por el DAGRD: El DAGRD proporcionó información histórica georreferenciada en tres capas en formato shapefile para analizar eventos de inundación y avenidas torrenciales. Se menciona que utilizaron las bases de datos de SIRE (2021 en adelante) y ACCESS (2004-2021) en las que se identificaron un total de 2465 registros, de los cuales 43 correspondían a avenidas torrenciales y 2422 a inundaciones.

Para reducir la muestra, seleccionaron 467 registros de inundación mediante una selección por localización, enfocándose en las visitas de inspección realizadas a una distancia de 10 metros de las quebradas de la red hídrica del POT 2014, sumando un total de 510 registros (incluidos los 43 de avenidas torrenciales).

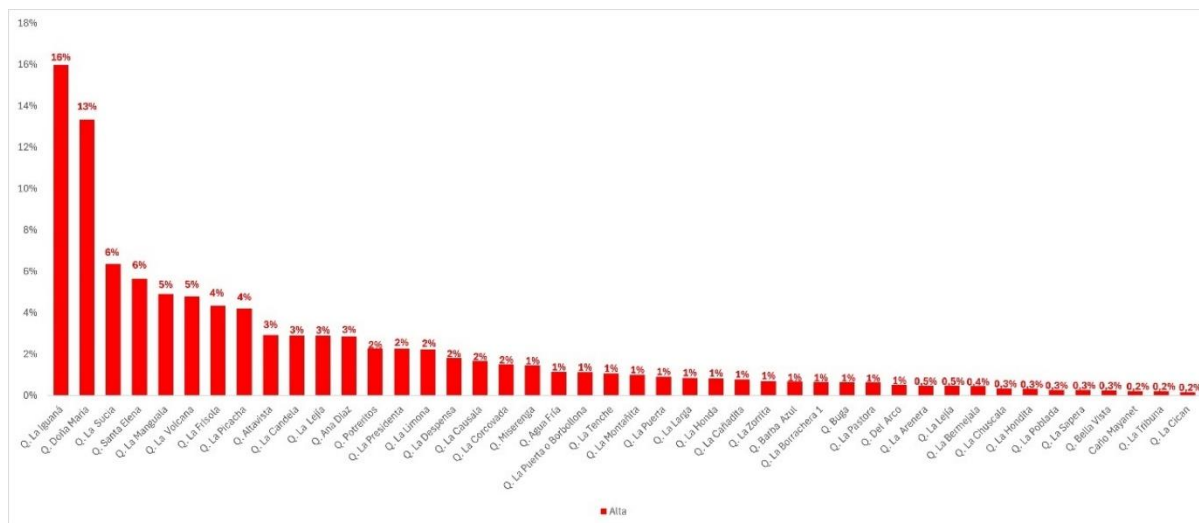
Con base en esta información, y con el objetivo de identificar las quebradas que, por recurrencia, tuvieran mayor relevancia, se realizó una "Unión Espacial" utilizando herramientas SIG. Este proceso permitió asociar a cada punto de las visitas la información correspondiente a las quebradas más cercanas, facilitando la diferenciación de su importancia según su recurrencia.

Información suministrada por la UNGRD: Según las bases de datos de emergencias proporcionados por la UNGRD se revisaron los registros históricos sobre la cantidad de eventos ocurridos en el distrito de Medellín por avenidas torrenciales e inundaciones. Esta información se

1.2.2 Resultados por avenida torrencial e inundación

Avenida Torrencial

Finalmente, se muestran las quebradas resultado del análisis que son comparadas para la priorización de cuencas con excepción de los análisis realizados para las zonas con condición de riesgo.



Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

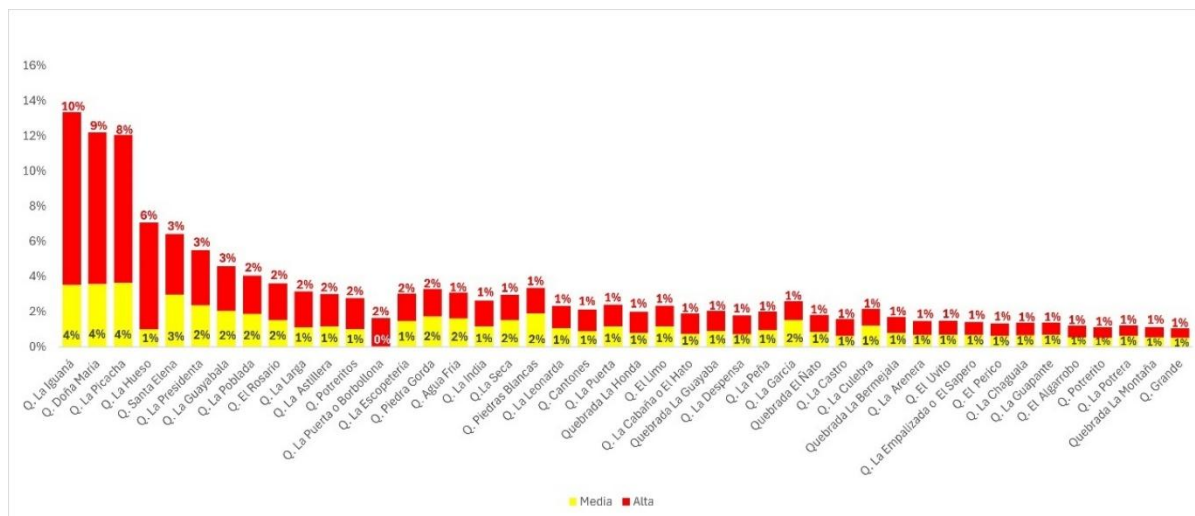


Ilustración 7. Porcentaje de área en amenaza alta y media por avenidas torrenciales, asociado a las quebradas según POMCA Río Aburrá.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

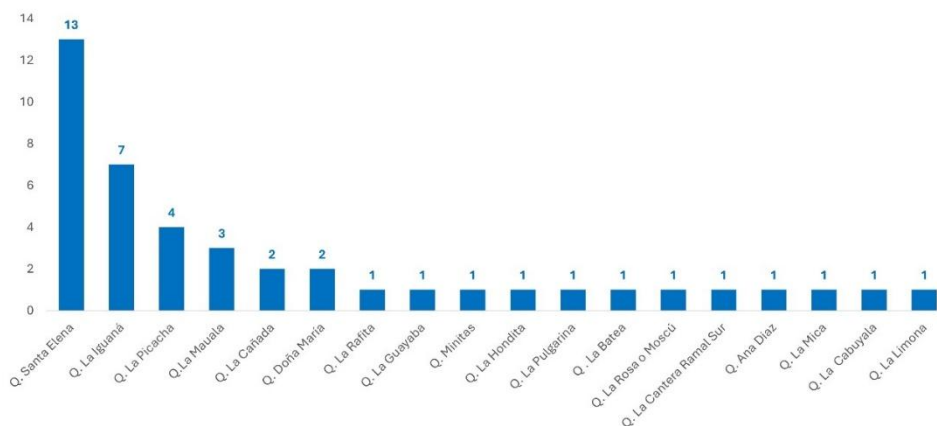


Ilustración 8. Reporte de eventos a partir de visitas de inspección por avenida torrencial según DAGRD.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

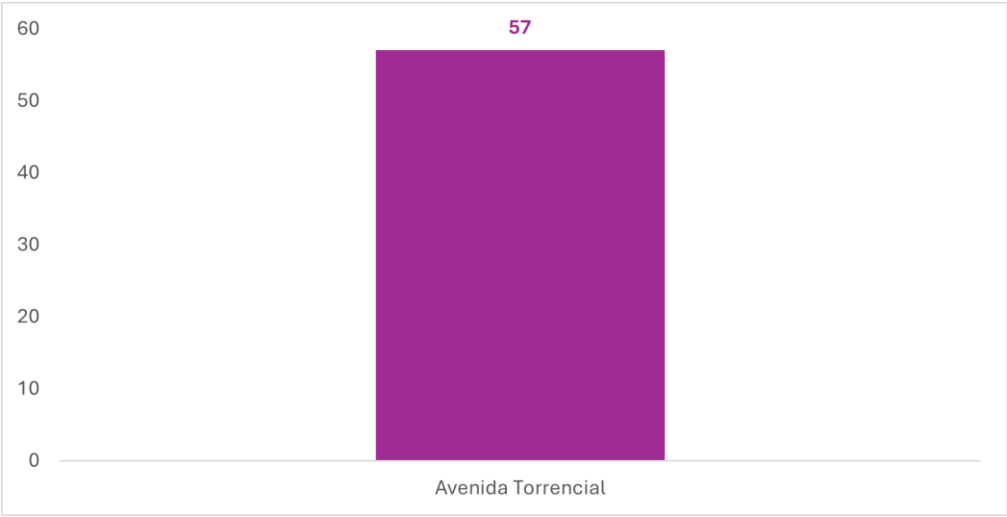


Ilustración 9. Numero de eventos reportados por avenida torrencial por la base de datos de emergencias de la UNGRD.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

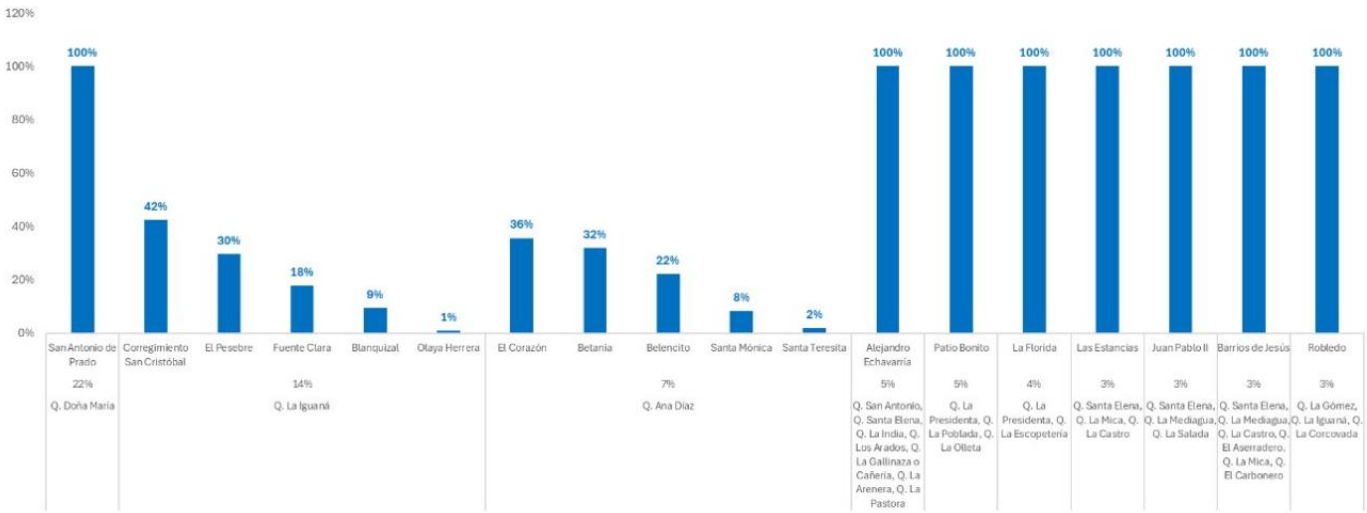


Ilustración 10. Zonas con condición de riesgo – zona urbana. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

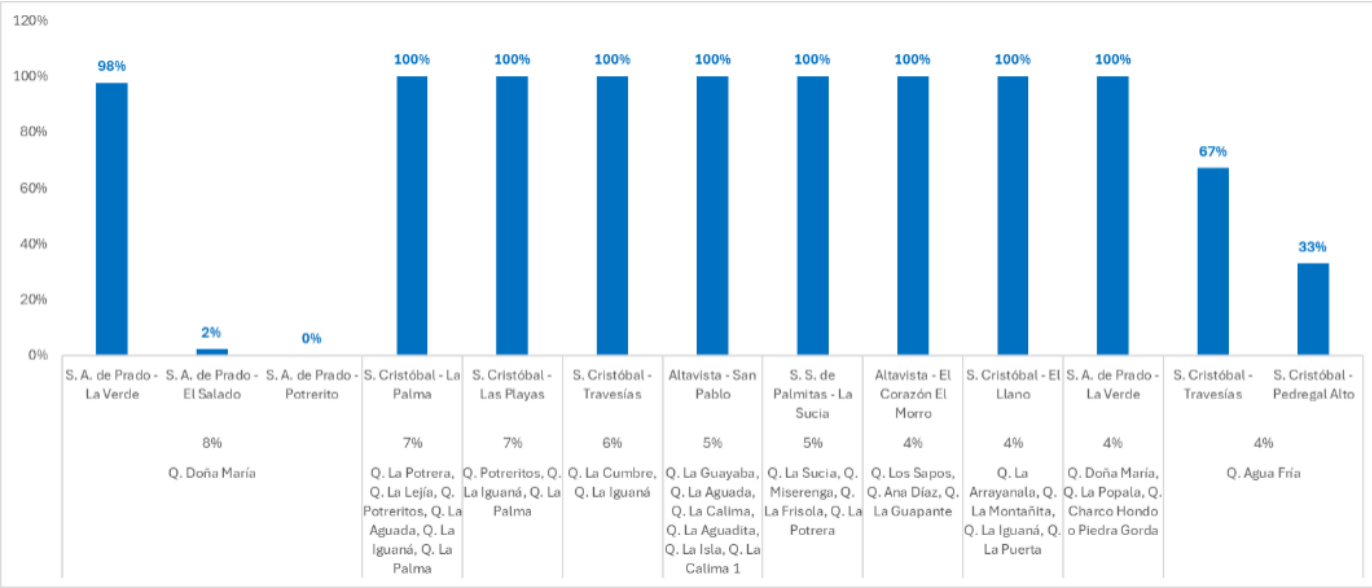


Ilustración 11. Zonas con condición de riesgo – zona rural. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Inundación

Se abordaron los resultados de los análisis de las zonas expuestas a amenaza por inundación a partir de distintas fuentes de información secundaria. Se seleccionaron las manchas de amenaza alta y media y se calculó el porcentaje de área afectada asociado a cada quebrada ordenados de mayor a menor área, por amenaza alta.

Finalmente, se muestran las quebradas resultado del análisis que son comparadas para la priorización de cuencas.

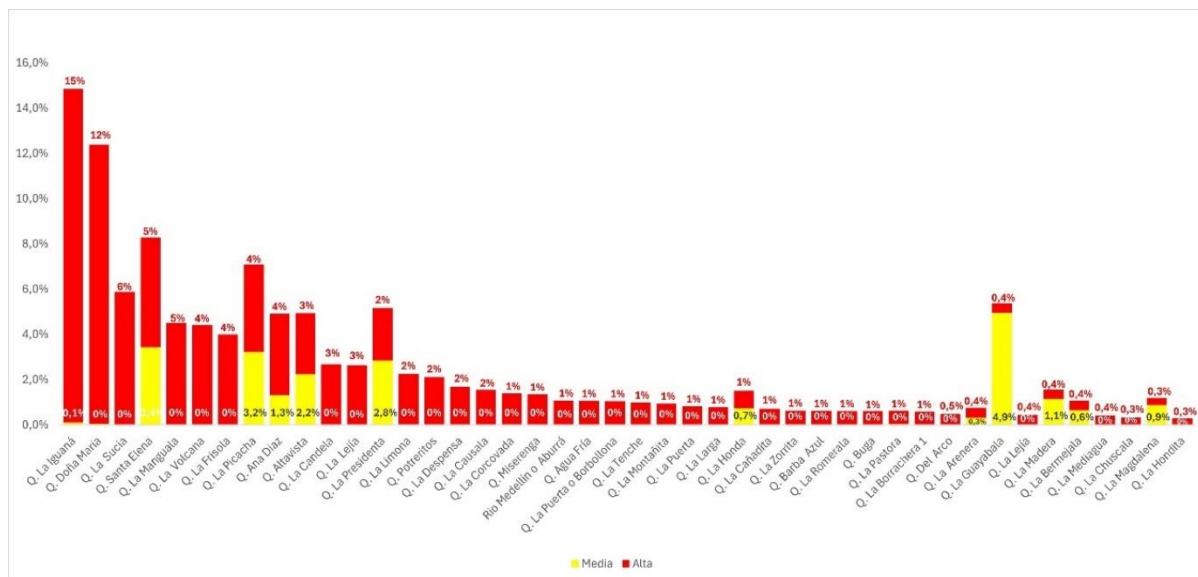


Ilustración 12. Porcentaje de área en amenaza alta y media por inundación, asociado a las quebradas según POT (Acuerdo 048 de 2014).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

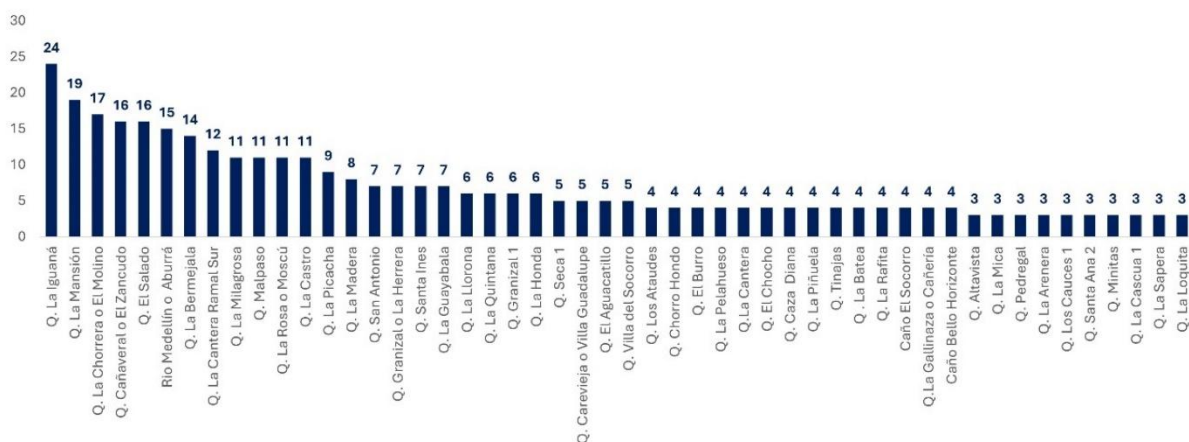


Ilustración 13. Reporte de eventos a partir de visitas de inspección por inundación según DAGRD.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

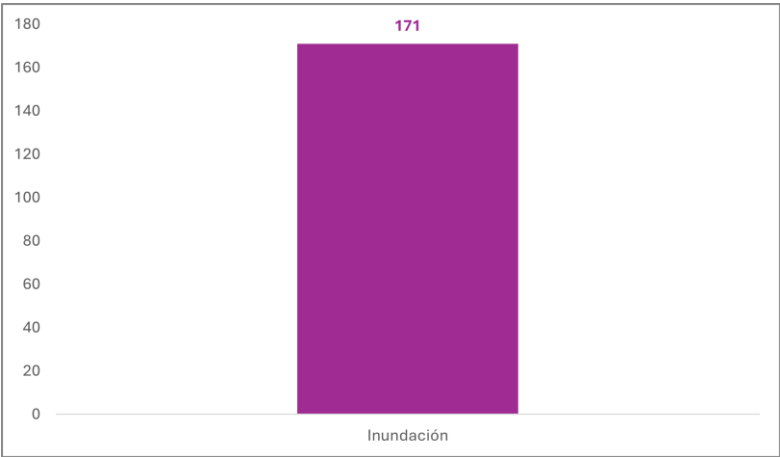


Ilustración 14. Numero de eventos reportados por inundación por la base de datos de emergencias de la UNGRD.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

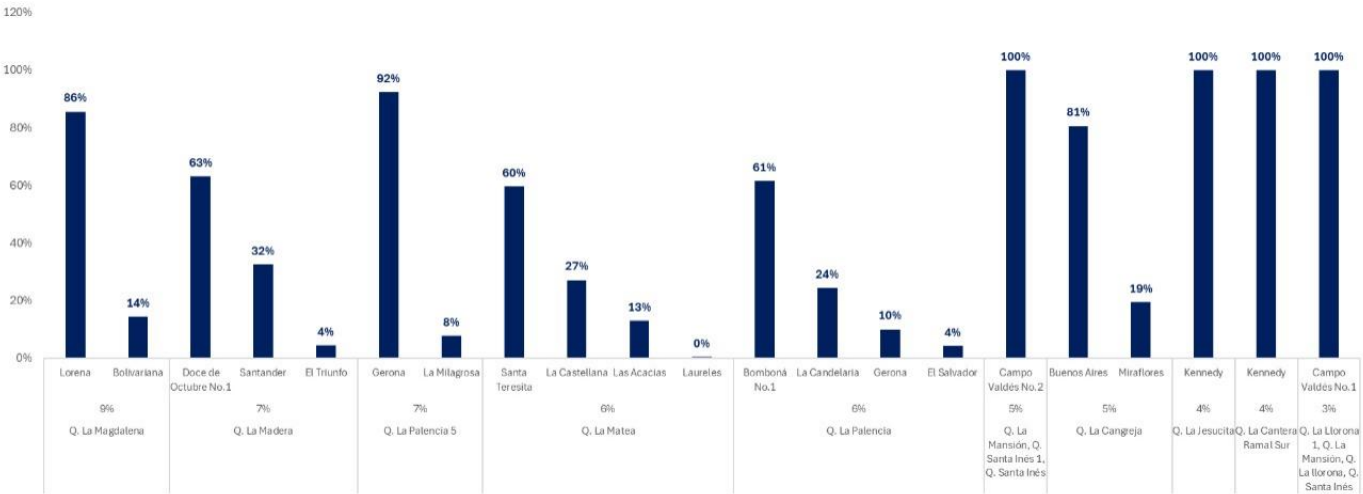


Ilustración 15. Zonas con condición de riesgo – zona urbana. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por barrio.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

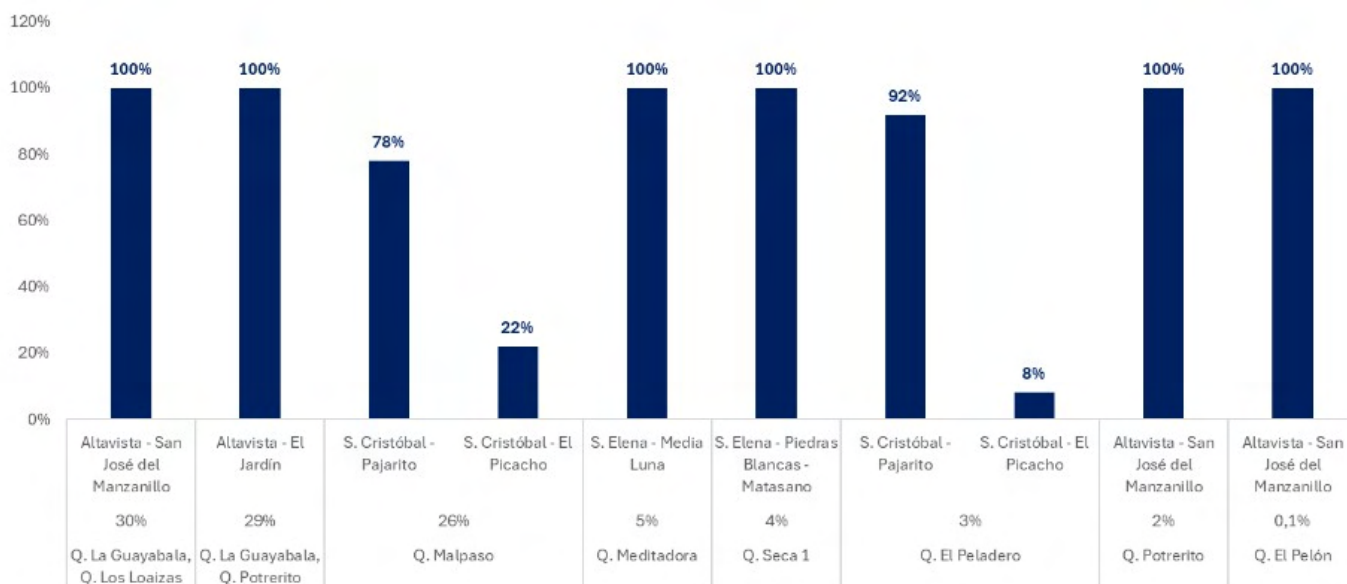


Ilustración 16. Zonas con condición de riesgo – zona rural. Porcentaje de área ocupada en amenaza alta por quebrada y por Corregimiento/barrio.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.3 Priorización de cuencas

1.3.1 Criterios de priorización, fuentes y justificación

La metodología integra seis (6) criterios organizados en dos grupos: (i) parámetros morfométricos, que cuantifican las características físicas de las cuencas y su propensión al comportamiento torrencial, y (ii) información secundaria, que incorpora el conocimiento histórico y normativo disponible sobre los fenómenos de amenaza. La Tabla 6 presenta cada criterio con su fuente bibliográfica y justificación técnica.

Tabla 6. Criterios de priorización, fuentes y justificación técnica.

No.	Criterio	Tipo	Fuente	Justificación
1	Índice de Melton (Me)	Morfométrico	SGC (2021); Wilford et al. (2004)	Indica la energía del relieve y propensión a flujos torrenciales. Valores >0,30 asociados a torrencialidad en Colombia.
2	Relación de Relieve (Ir)	Morfométrico	Schumm (1956); Chen y Yu (2011); SGC (2021)	Refleja la movilidad potencial de material desde el inicio hasta la zona de depósito. Valores >0,15 indican torrencialidad.

No.	Criterio	Tipo	Fuente	Justificación
3	IVET – Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales	Morfométrico-hidrológico	IDEAM (2013); POMCA Río Aburrá (2018)	Combina índice morfométrico de torrencialidad e índice de variabilidad de caudales. Clasificación cualitativa: Muy Alta, Alta, Media, Baja.
4	Amenaza POT (Acuerdo 048/2014)	Información secundaria	Alcaldía de Medellín – POT 2014	Manchas de amenaza alta y media por AT e inundación vigentes en el instrumento de ordenamiento territorial.
5	Amenaza POMCA Río Aburrá (2018)	Información secundaria	CAP Ingeniería / CORANTIOQUIA-CORNARE-AMVA (2018)	Zonificación de amenaza a escala regional para la cuenca del río Aburrá.
6	Registros históricos DAGRD	Información secundaria	DAGRD – bases SIRE (2021+) y ACCESS (2004-2021)	Recurrencia de eventos georreferenciados a 10 m de la red hídrica, que permite identificar corrientes con mayor historial de afectación.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.3.2 Mecanismo de asignación de puntajes

Como parte final del análisis y con el fin de clasificar adecuadamente las cuencas de interés en el Distrito de Medellín y su respectiva priorización, se realizó la comparación entre los registros de eventos, las zonas definidas en amenaza alta y media y los resultados de los índices morfométricos.

Para realizar la priorización de las quebradas, se construyó una matriz compuesta por seis columnas: tres correspondientes a parámetros morfométricos como son: Relación de Relieve, Índice de Melton e Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), y las otras tres asociadas a información secundaria proveniente de los estudios del POT, del POMCA del río Aburrá y de las visitas técnicas realizadas por el DAGRD. Cada columna fue organizada en orden descendente, considerando el nivel de relevancia de las quebradas según el criterio evaluado. A la quebrada ubicada en el primer lugar de cada columna se le asignó el puntaje máximo, determinado por el número total de elementos únicos en la columna de mayor cobertura del análisis (columna POMCA, con 94 registros únicos). A las siguientes quebradas se les asignaron puntajes decrecientes en una unidad por posición, hasta llegar al valor mínimo de acuerdo con la cantidad de registros únicos de cada columna.

Este procedimiento garantiza que una quebrada con mayor relevancia en un criterio reciba una puntuación más elevada, independientemente de la escala absoluta de los indicadores morfométricos.

Tabla 7. Escala de puntaje por criterio.

Columna / Criterio	N.º elementos únicos	Puntaje máximo asignado	Escala de puntaje (descendente)
Índice de Melton	39	94 → escala 94–56	94, 93, 92 ... 56
Relación de Relieve	38	94 → escala 94–57	94, 93, 92 ... 57
IVET	44 (Alta + Media)	94 (Alta) / 52 (Media)	94 fijo Alta; 52 fijo Media
POT (Acuerdo 048/2014)	53	94 → escala 94–42	94, 93, 92 ... 42
POMCA Río Aburrá	94	94 → escala 94–1	94, 93, 92 ... 1
DAGR	18	94 → escala 94–77	94, 93, 92 ... 77

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.3.3 Tratamiento de registros duplicados

En la base de datos original, una misma quebrada podía aparecer en múltiples filas de una misma columna (debido a que distintos polígonos de amenaza, o distintos eventos, se asociaban a esa corriente). Para el proceso de priorización se conservó únicamente el registro de mayor puntaje por quebrada y por columna, evitando la sobrerrepresentación de corrientes con mayor cobertura cartográfica.

1.3.4 Tratamiento especial del IVET

El IVET no produce un valor numérico continuo sino una clasificación cualitativa (Muy Alta, Alta, Media, Baja) que resulta de la combinación matricial entre el índice morfométrico de torrencialidad y el índice de variabilidad de caudales, conforme a la metodología del IDEAM (2013). Para incorporar este índice cualitativo en la matriz cuantitativa de priorización, se adoptó el siguiente esquema de conversión:

Tabla 8. Conversión del IVET cualitativo a puntaje numérico.

Categoría IVET	Puntaje asignado	Justificación	Referencia
Alta	94 (valor fijo)	Corresponde al número máximo de elementos en la columna POMCA, la de mayor cobertura en el análisis.	IDEAM (2013)
Media	52 (valor fijo)	Valor proporcional al peso relativo de la categoría Media	Criterio técnico del equipo consultor

Categoría IVET	Puntaje asignado	Justificación	Referencia
		respecto a Alta, dentro del rango de la escala adoptada.	
Sin dato (cuencas externas cuenca Aburrá)	94 (asumido como Alta)	Criterio conservador: ante ausencia de índice de variabilidad del POMCA, se asume el escenario más desfavorable.	Principio de precaución (UNGRD)

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

El valor de 146 que aparece para algunas quebradas en la columna IVET del Anexo 3 obedece a que dichas corrientes presentan clasificación IVET tanto en la categoría Alta como en la categoría Media, en diferentes sectores o subcuencas de la misma quebrada. Al consolidar la información sin eliminar duplicados inter-categoría, se suman los puntajes de ambas apariciones: 94 (Alta) + 52 (Media) = 146.

Este comportamiento se observa en las siguientes quebradas: Q. La Seca, Q. La Hueso, Q. La Picacha, Q. Santa Elena, Q. La Poblada, Q. La Presidenta y Q. La Aguacatala. Para todas ellas, la doble clasificación obedece a diferencias morfológicas entre los tramos alto, medio y bajo de la cuenca, o entre subcuencas tributarias analizadas con distintos índices de variabilidad según el POMCA (2018).

Tabla 9. Variabilidad del puntaje IVET según número de categorías por quebrada.

Caso	Puntaje IVET	Puntaje máx. posible	Explicación
Cuenca con IVET = Alta (una sola categoría)	94	94	Un único registro en categoría Alta.
Cuenca con IVET = Media (una sola categoría)	52	94	Un único registro en categoría Media.
Cuenca con registros en Alta Y Media (ej. Q. La Seca, Q. La Hueso, Q. La Picacha, Q. Santa Elena, Q. La Poblada, Q. La Presidenta, Q. La Aguacatala)	146	94 + 52 = 146	La misma cuenca aparece clasificada como Alta en una subzona y Media en otra (ej. subcuencas con diferente índice morfométrico o variabilidad). Se suman ambos puntajes conforme al procedimiento de la BD Consolidada.

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

1.3.5 Sumatoria de puntajes

Finalmente, se sumaron los valores asignados a cada quebrada en todas las columnas, generando un puntaje total acumulado. Toda la información procesada se especifica en el anexo Matriz_de_priorización.

El puntaje total de priorización se obtuvo mediante la suma simple de los puntajes asignados en cada criterio:

$$P_{total} = P_{Melton} + P_{Relieve} + P_{IVET} + P_{POT} + P_{POMCA} + P_{DAGR D}$$

Este análisis permitió definir la evaluación de la amenaza por inundación y avenidas torrenciales para las siguientes cuencas:

Tabla 10. Quebradas priorizadas.

Priorización	Quebrada	Puntaje Total
1	Q. Santa Elena	557
2	Q. La Picacha	540
3	Q. La Iguaá	517
4	Q. Doña María	498
5	Q. La Presidenta	465
6	Q. La Poblada	463
7	Q. Ana Díaz	404
8	Q. La Hondita	401
9	Q. La Hueso	398
10	Q. Potreritos	389
11	Q. La Volcana	371
12	Q. La Seca	369
13	Q. La Lejía	347
14	Q. La Escopetería	344
15	Q. La Sucia	340
16	Q. La Frisola	333
17	Q. La Aguacatala	326
18	Q. La Puerta - Borbollona	325
19	Q. El Ñato	310
20	Q. La Astillera	307
21	Q. Altavista	299
22	Q. Zúñiga	279
23	Q. El Hato	265
24	Q. Cañaveralejo - Zancudo	262
25	Q. La Gómez	259
26	Q. La Guayabala	258
27	Q. El Ahorcado	255

Priorización	Quebrada	Puntaje Total
28	Q. La Rafita - Chorro Hondo	252
29	Q. La Limona	251
30	Q. Piedra Gorda	246
31	Q. Piedras Blancas	245
32	Q. Miserenga	242
33	Q. La Malpaso	242
34	Q. La Puerta	240
35	Q. La Pelahueso	225
36	Q. La Madera	209
37	Q. La Castro	208
38	Q. Cantera Sur	204
39	Q. La Quintana	202
40	Q. La Chorrera - Molino	199
41	Q. Paulita	199
42	Q. La Moñonga	189
43	Q. La Bermejala	176
44	Q. La Leonarda	171
45	Q. La Guayaba	157
46	Q. La Larga	156
47	Q. Agua Fría	155
48	Q. La Despensa	148
49	Q. La Honda	142
50	Q. Minitas	128
51	Q. La Cañada	121
52	Q. La Arenera	118
53	Q. La García	118
54	Q. La Zorrita	105
55	Q. La Potrera	103
56	Q. La Mauala	91
57	Q. La Manguala	90
58	Q. La Rafita	88
59	Q. La Candela	85
60	Q. El Rosario	85

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

El puntaje total acumulado de cada quebrada resulta de la suma de los puntajes obtenidos en cada una de las seis columnas de la matriz. Dado que una misma quebrada puede aparecer con distinta relevancia en cada criterio, y dado que algunos criterios cubren un mayor número de corrientes que otros, el puntaje total es inherentemente variable entre quebradas. A continuación, se explican los extremos del rango observado:

Puntaje máximo (Q. Santa Elena = 557): Esta quebrada obtiene los puntajes más altos en cuatro de los seis criterios, lo que explica su valor acumulado elevado. Adicionalmente, aparece en ambas categorías del IVET (Alta + Media), sumando 146 puntos solo en ese criterio.

Puntaje mínimo (Quebradas con baja recurrencia: Corrientes que solo aparecen en pocas columnas y en posiciones bajas, resultando en puntajes acumulados muy reducidos.

La amplitud del rango no constituye un error metodológico; refleja la distribución real de la relevancia de las corrientes según la información disponible, en la que un grupo reducido de quebradas concentra presencia simultánea en múltiples criterios mientras la gran mayoría solo aparece en uno o dos.

El criterio de corte de 60 cuencas obedece principalmente a que un análisis hidrológico detallado para un número mayor de afluentes simultáneos excedería la escala de los presentes estudios básicos de amenaza, sin aportar mejoras significativas a la zonificación dado el bajo puntaje relativo de las corrientes excluidas los cuales fueron abordados con la jerarquía metodológica fundamentada en el principio de considerar información con mayor soporte técnico disponible presentada en el Anexo 1.

A manera de ilustración del procedimiento completo de cálculo, se presenta a continuación la descomposición del puntaje acumulado de la Q. Santa Elena, la cuenca con mayor puntaje del análisis:

Tabla 11. Descomposición del puntaje acumulado – Q. Santa Elena.

Criterio	Posición en columna	Puntaje parcial	Observación
Índice de Melton	30°	65	Varios registros; se toma el de mayor puntaje
Relación de Relieve	28°	71	—
IVET	Alta	94 + 52 = 146	Aparece en categoría Alta y Media; se suma el mayor
POT (Acuerdo 048/2014)	4°	91	—
POMCA Río Aburrá	5°	90	—
DAGR	1°	94	Mayor recurrencia de eventos
TOTAL ACUMULADO	—	557	Puesto 1 en el ranking general

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

A partir de la priorización las de cuencas, se definen los tramos a evaluar desde el componente hidrológico (determinación de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno) y el análisis

hidráulico teniendo como base la información topográfica que es tomada en función de un levantamiento LIDAR (*Light Detection and Ranging*) el cual permite la construcción de un modelo digital del terreno de 1,0 m x 1,0 m de tamaño de pixel, información base que conlleva al análisis de la amenaza a una mayor escala que la definida para el tipo de estudios dentro del Decreto nacional 1077 de 2015.

2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, como las inundaciones y las avenidas torrenciales, representa una amenaza significativa para la seguridad de las comunidades, la infraestructura y los ecosistemas. En este contexto, el presente estudio hidrológico tiene como objetivo principal la estimación de caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno, los cuales servirán como insumo fundamental para la evaluación del nivel de amenaza por inundación y flujos torrenciales en el área de estudio.

El análisis se fundamentó en la caracterización detallada de las condiciones fisiográficas, climáticas e hidrológicas de la cuenca, incorporando registros históricos de precipitación, así como información topográfica, edafológica y de cobertura del suelo. Para la estimación de caudales máximos, debido a la ausencia de una red de monitoreo de caudales con registros estadísticamente representativos en el tiempo (largo plazo) y en el espacio (diferentes escalas de cuenca), se utilizaron varios modelos lluvia-escurrentía que permitieron reproducir la respuesta de las cuencas ante la ocurrencia de eventos extremos.

Se utilizaron las metodologías de hidrógrafas unitarias del NRCS (*Natural Resources Conservation Service*, 2007), Snyder (Snyder, 1938), Williams & Hann y Clark, así como el método racional (cuencas menores). Para su implementación, primero se estimaron de los parámetros morfométricos de las cuencas priorizadas, con base en los cuales se determinaron las características espaciotemporales de las respectivas tormentas de diseño; posteriormente, se estimaron hidrógrafas unitarias, que, al combinarse (convolución) con las tormentas de diseño (hietogramas), permitieron obtener las hidrógrafas de respuesta de las cuencas ante la ocurrencia de eventos con período de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años de período de retorno.

Se debe tener en cuenta se debe tener en cuenta las limitaciones y condiciones de desarrollo de estos métodos empíricos, ya que estos fueron desarrollados y parametrizados en otras regiones del mundo con condiciones climatológicas, hidrológicas y topográficas diferentes a las del área de estudio. Sin embargo, son las herramientas disponibles ante la escasez de registros hidrométricos.

Este estudio hace parte integral de un enfoque de gestión del riesgo de desastres, en el cual se busca no solo delimitar zonas potencialmente inundables o susceptibles a avenidas torrenciales, sino también proporcionar criterios técnicos para el diseño de obras de mitigación, la planificación territorial y la toma de decisiones informadas por parte de autoridades ambientales y entidades de ordenamiento.

Este documento presenta avance en el proceso y los resultados del procesamiento de la información topográfica, climática y cartográfica para la obtención de los valores de caudal máximo para diferentes periodos de retorno en las cuencas priorizadas para el modelamiento hidráulico.

En esta entrega del análisis hidrológico se presenta la información asociada al procesamiento de las curvas de nivel para la obtención de un MDT (Modelo Digital de Terreno) y la delimitación de las cuencas hidrográficas priorizadas en la etapa anterior. A partir del MDT y los polígonos de las cuencas se obtuvieron los parámetros morfométricos y la estimación de los tiempos de concentración.

2.1 Información utilizada

Se describe la información topográfica, climatológica, edafológica y de cobertura del suelo utilizada en la estimación de los caudales máximos de las cuencas priorizadas.

2.1.1 Información cartográfica

La cartografía empleada en el análisis hidrológico corresponde a curvas de nivel y red de drenaje de diferentes fuentes de información con el fin de abarcar en su totalidad el área municipal del Distrito. De esta manera se utilizó la información disponible en el estudio de Cartografía Digital de Antioquia – Cartoantioquia, elaborada por la Comisión Tripartita (Gobernación de Antioquia, Alcaldía de Medellín y Área Metropolitana) EPM, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC- y el Instituto para el Desarrollo de Antioquia – IDEA, con escalas que varían entre 1:2.000 y 1:10.000 para la zona estudiada. Como insumo se utilizó la información mostrada en la Tabla 12.

Tabla 12. Información de curvas de nivel utilizada

Plancha	Escala	Información
146	1:10.000	Curvas de nivel, Red de Drenaje
	1:5.000	
	1:2.000	
147	1:10.000	Curvas de nivel, Red de Drenaje
	1:5.000	
	1:2.000	

Fuente: IGAC

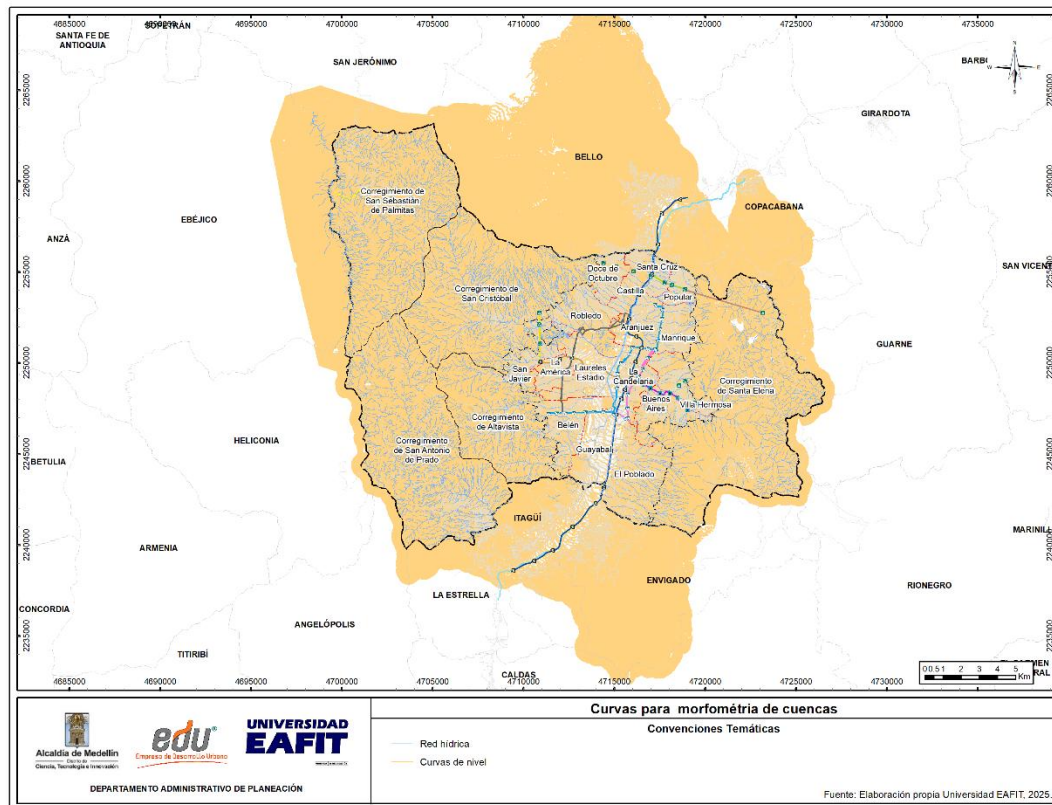


Ilustración 17. Mapa de información cartográfica empleada para el análisis hidrológico

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.1.2 Información hidroclimática

En la zona de estudio y sus respectivas cuencas hidrográficas no se cuenta con registros confiables de caudal. Por lo tanto, en el estudio hidrológico se utilizó únicamente información de precipitación registrada en la red de estaciones operada por EPM e IDEAM. En la Tabla 13 e Ilustración 18 se presenta la información de las estaciones con información de Intensidad-Duración-Frecuencia en el área de estudio, mientras que en la Ilustración 2 se presenta su localización espacial y su respectiva área de influencia, la cual fue definida con base en la metodología de polígonos de Thiessen.

Tabla 13. Estaciones con información de precipitación

Código	Nombre	Entidad	Período Registro	Tipo de información
N/A	Gerona	EPM	1990-2025	IDF
2308024	Vasconia	EPM	1990-2025	IDF
2701034	Mazo	EPM	1990-2025	IDF
2701035	Chorrillos	EPM	1990-2025	IDF
2701037	Fabricato	EPM	1990-2025	IDF
2701038	San Antonio	EPM	1990-2025	IDF
2701045	Villahermosa	EPM	1990-2025	IDF
2701046	San Cristóbal	EPM	1990-2025	IDF

Código	Nombre	Entidad	Período Registro	Tipo de información
2701047	Medellín	EPM	1990-2025	IDF
2701093	Ayurá	EPM	1990-2025	IDF
27010770	El Chuscal	IDEAM	1970-2024	Serie Diaria
26230180	Llanos de San Juan	IDEAM	1991-2024	Serie Diaria

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

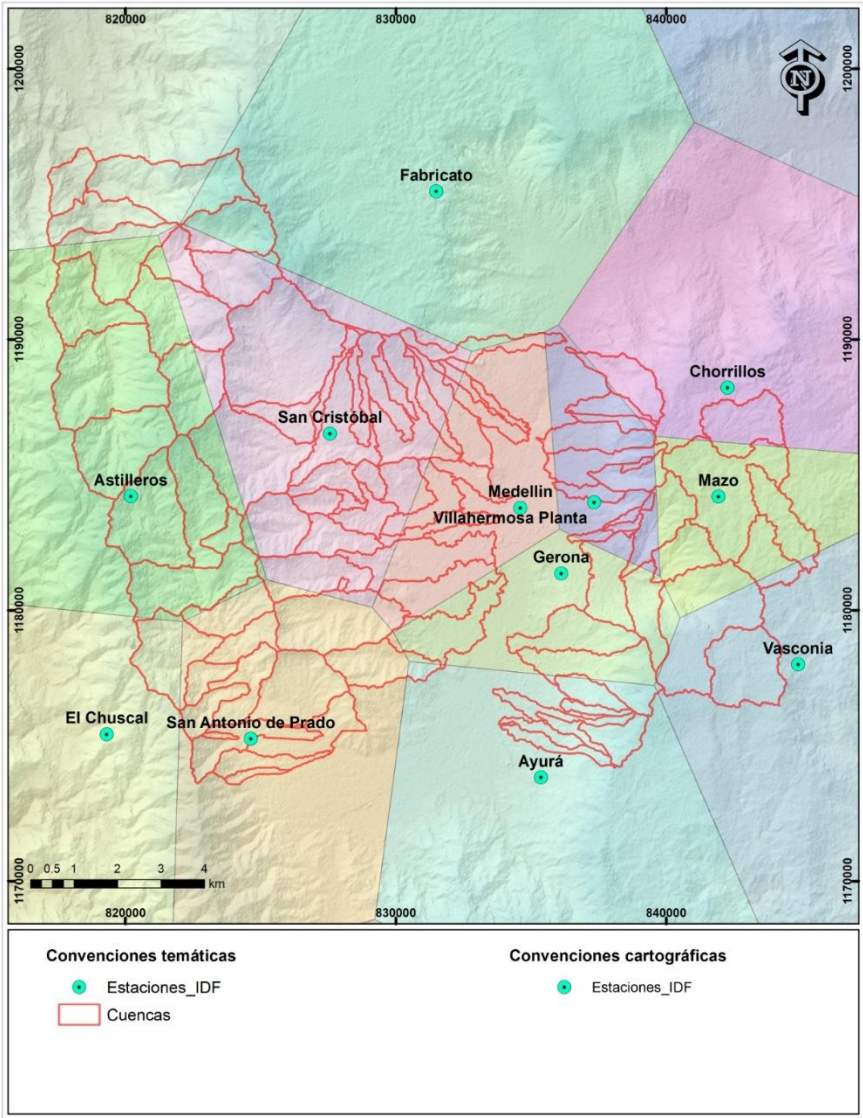


Ilustración 18. Estaciones pluviométricas en la zona de estudio y polígonos de Thiessen

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.1.3 Usos del suelo y cobertura vegetal

La permeabilidad de los suelos y su cobertura vegetal es uno de los principales componentes en el proceso de transformación de la lluvia en escorrentía. Para obtener las coberturas terrestres del Distrito, se utiliza como insumo principal el *feature class* “CoberturaTierra_UsoActual” de la *geodatabase* del POMCA del río Aburrá 2018. Luego mediante procesamiento geográfico (UNION) realizado en el software ArcGis v. 10.8, se incorporan las coberturas terrestres suministradas por planeación para los corregimientos de San Sebastián de Palmitas y San Antonio de Prado. Finalmente, se realiza una edición de coberturas de todo el distrito, utilizando la ortofoto para el municipio de Medellín del año 2024 disponible en el servidor de mapas del Distrito, ajustando las zonas que han venido ocupándose con la categoría de tejido urbano discontinuo y continuo. En la Ilustración 19 se presenta la distribución de las coberturas en el Distrito de Medellín.

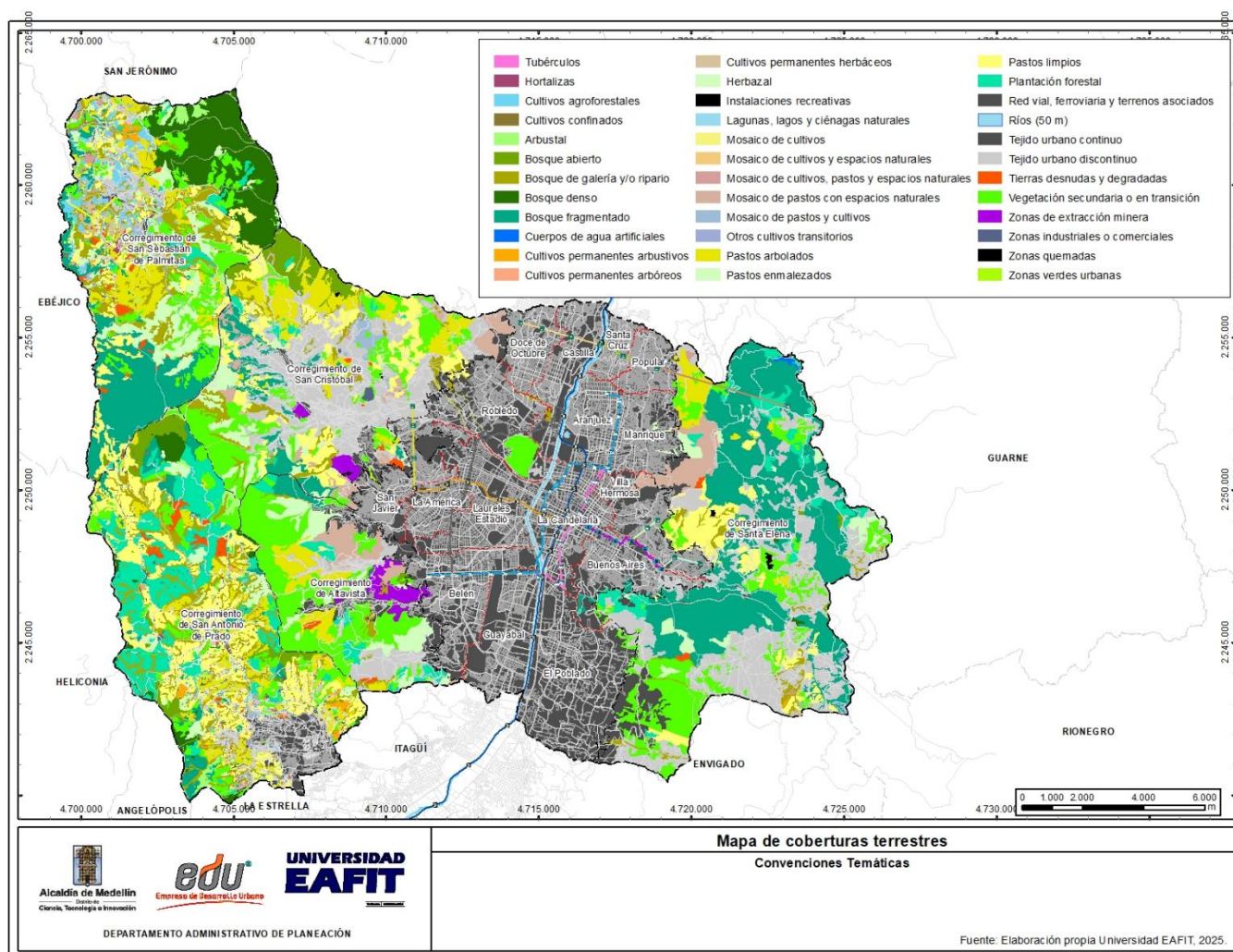


Ilustración 19. Mapa de Coberturas

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.1.4 Edafología

Edafología es la rama de la geología y de la agronomía que se encarga del análisis del suelo como un sistema natural, evaluando sus propiedades físicas, químicas, biológicas y mineralógicas, y su influencia en procesos ecológicos, agrícolas e hidrológicos. El estudio hidrológico conto con información del Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Antioquia. Escala 1: 100.000 elaborado por el IGAC en el año 2007. En la Ilustración 20 se presenta la zonificación de suelos en el área de interés.

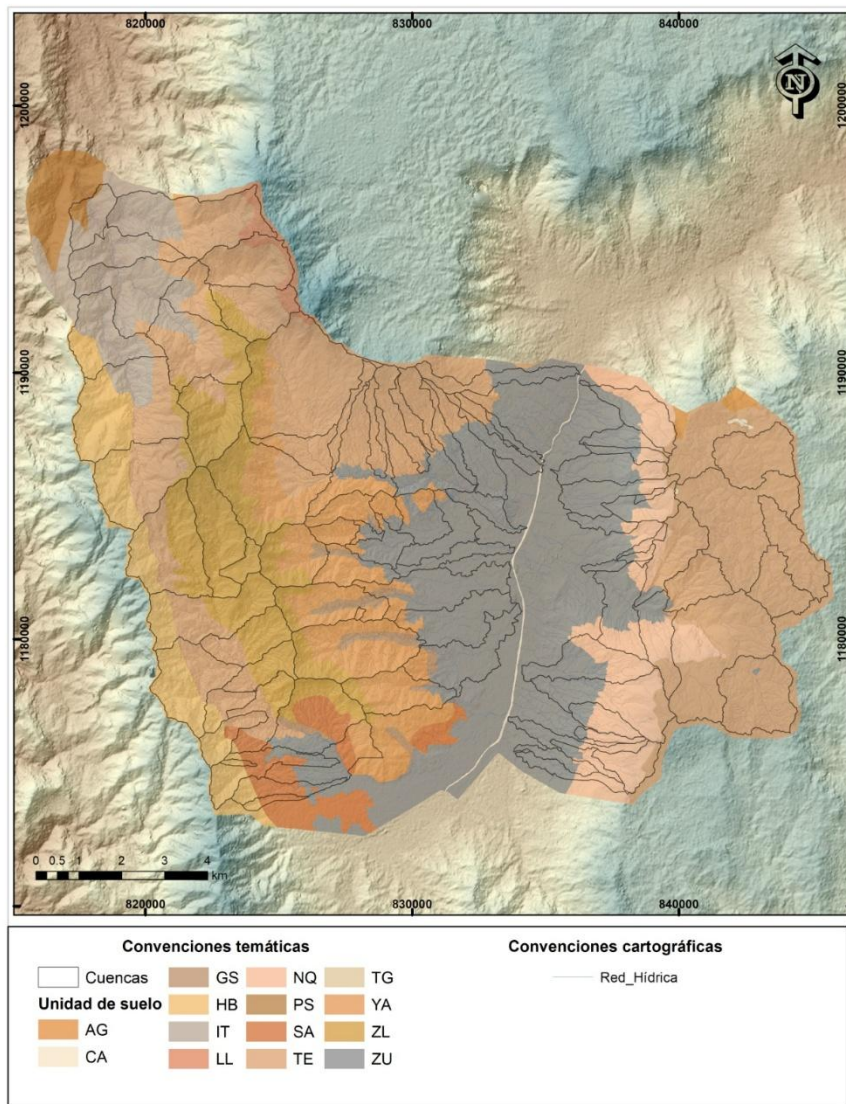


Ilustración 20. Mapa de unidades de suelo en el área de interés

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.2 Procesamiento del Modelo Digital de Terreno (MDT)

Un modelo digital de terreno (MDT) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el terreno. Con el objetivo de caracterizar la morfometría las cuencas estudiadas, enfocada determinar la respuesta del terreno ante un evento de precipitación, se construyó un modelo digital de terreno a partir de la información cartográfica existente.

La construcción del MDT generalmente parte de cartografía topográfica en formato vectorial, que puede incluir curvas de nivel, puntos, líneas de drenaje y otros objetos cartográficos. Estos elementos se integran en un proceso de interpolación espacial con el fin de obtener una superficie continua de elevación. La precisión del MDT depende de la escala y calidad de la cartografía base, así como del método de interpolación utilizado; para este caso se utilizó la información presentada en el numeral 2.1.1. Una vez construido el MDT a partir de las curvas de nivel existentes se realizó un procedimiento de adecuación hidrológica con el objetivo de garantizar la topología del drenaje en el área estudiada.

2.2.1 Construcción del MDT

Con base en la información cartográfica disponible se realizó la interpolación del MDT, con una resolución de píxel de 2 m, mediante la implementación del algoritmo ANUDEM, el cual es una metodología desarrollada específicamente para la generación de modelos continuos e hidrológicamente consistentes, a partir de curvas de nivel, puntos de elevación y redes de drenaje. Mediante una interpolación basada en funciones tipo spline y un proceso iterativo de ajuste. ANUDEM garantiza que el modelo resultante no solo represente suavemente la topografía, sino que también respete la conectividad y dirección de flujo del agua, eliminando depresiones artificiales y mejorando la precisión hidrológica del modelo (Hutchinson, 1996).

Como se describe en la sección anterior previo a la incorporación de la información de drenajes al proceso de interpolación, se realizó una corrección de la red de drenaje para garantizar la conectividad de todos los elementos. Finalmente, En la Ilustración 21 se presenta el MDT utilizado en el estudio hidrológico.

Topología de la red de drenaje

La topología se refiere a la relación espacial y jerárquica entre los elementos de la red de drenaje: canales, tuberías, colectores, sumideros, quebradas, etc. Es decir, quién desemboca en quién, el orden de flujo, y cómo están conectados. Con el objetivo de tener una red de drenaje que conceptualmente represente la dinámica de las corrientes superficiales del área de estudio, evitando así errores mayores asociados a la interpolación del modelo digital del terreno y la respectiva delimitación de cuencas hidrográficas. Entre las principales actividades realizadas se encuentran:

- Empalme de drenajes “colgantes”: mediante herramientas SIG se completan los drenajes hasta que estos se encuentren topológicamente, garantizando el tránsito completo de los

caudales a través de la red, evitando subestimación de caudales en la modelación hidráulica e hidrológica.

- Conexión de cauces subterráneos: aunque se considera complejo identificar los drenajes subterráneos, se realizó la tarea de empalmar los drenajes mediante criterio experto, con el fin de minimizar errores en la caracterización espacial de caudales.
- Esqueletonización de la red de drenaje: se convierten cauces de drenaje “doble” a drenaje sencillo, con un objetivo idéntico a los anteriores. Este proceso evita la generación de flujos paralelos y errores de las cuencas delimitadas.
- Validación de conexión de nodos: mediante herramientas SIG se garantizó que todos los nodos de la red tuviesen conexión entre ellos.
- Corrección SIG: con base en múltiples herramientas SIG se corrigieron errores en la digitalización de la información, permitiendo tener un control de calidad sobre las operaciones SIG realizadas en procesos subsiguientes (estimación de longitudes y pendientes de cauce).

Corrección del modelo digital de terreno

Con el objetivo de caracterizar la variabilidad espacial de los caudales máximos, en conjunto con las correcciones topológicas se realizó una adecuación hidrológica del modelo de elevación generado. Que si bien se realizó con base en uno de los algoritmos en el estado del arte (ANUDEM), comprende un proceso iterativo que no garantiza el drenaje a través de la red. Así, se realizaron dos procedimientos básicos, que minimizan las variaciones de las características morfométricas del terreno:

- Stream burning: consiste en bajar la elevación de la red de drenaje una altura determinada con el objetivo de evitar errores al momento de la digitalización de la red de drenaje, donde esta se cruza con curvas de nivel de forma no concuerda con la realidad del terreno (O'Callaghan, 1984).
- Stream breaching: consiste en atravesar obstáculos que no son posibles de eliminar durante la construcción del DTM, tales como vía, puentes, box culverts (cortos), entre otros. Este algoritmo tiene limitaciones con respecto a la longitud de los obstáculos a atravesar, por lo que solo es aceptable en tramos cortos. Así, esta actividad se complementa con las correcciones topológicas descritas anteriormente (Lindsay, 2016).

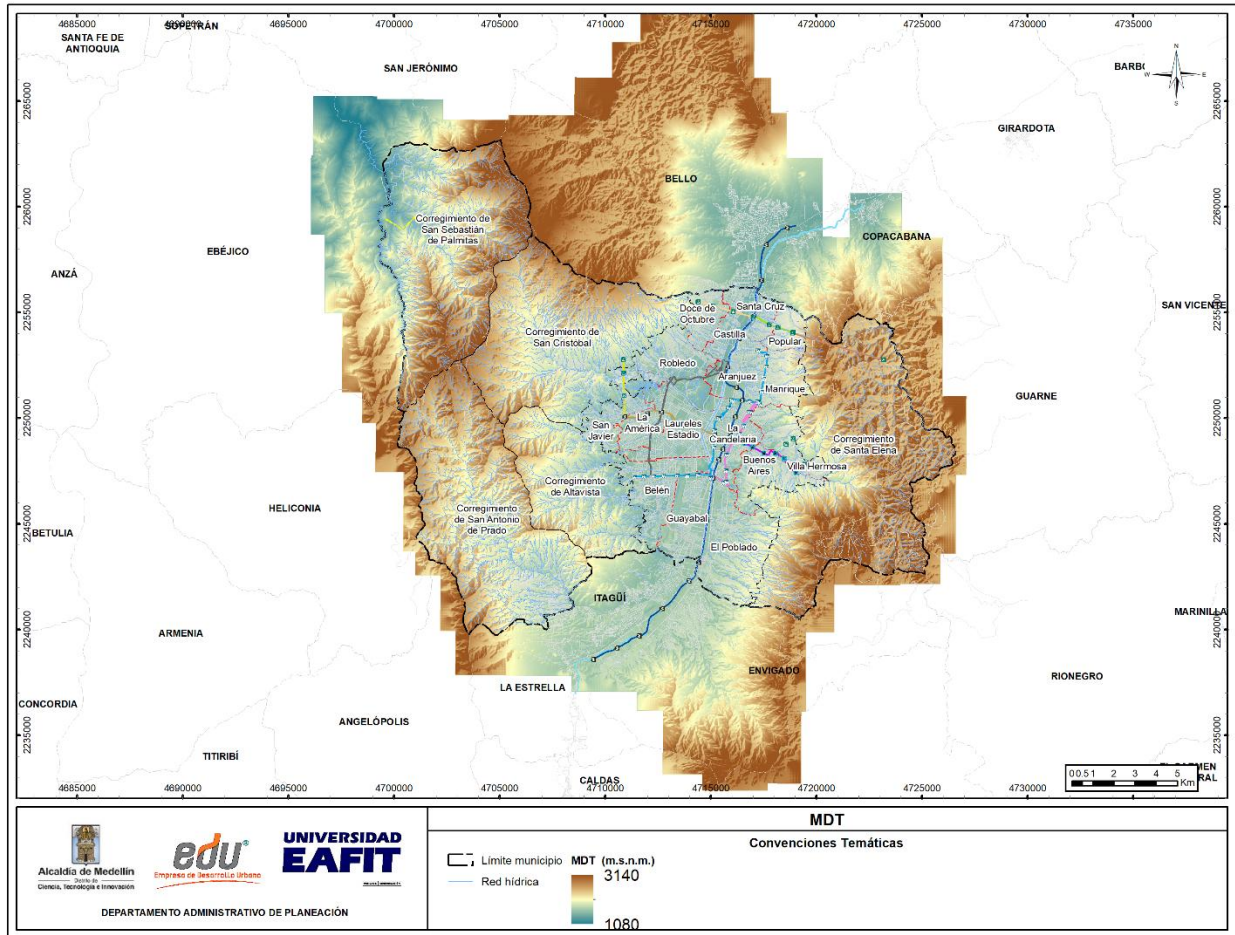


Ilustración 21. Mapa del MDT hidrológicamente corregido

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Es importante tener en consideración que, dentro del proceso de trazado de cuencas, se tuvo en cuenta la aplicación del procedimiento “*Stream burning*” y “*Stream breaching*”, partiendo de las limitaciones y beneficios que otorga cada uno, y que para los casos de elementos en coberturas de gran longitud como ocurre en algunos de los elementos que atraviesan la zona urbana del Distrito, la corrección mediante la incisión parcial de la red de drenaje disponible de la cartografía del Plan de Ordenamiento Territorial – Acuerdo 048 de 2014 con la finalidad de permitir el drenaje adecuadamente sobre la superficie del terreno y la definición adecuada de cada una de las cuencas de interés.

2.2.2 Delimitación de cuencas

Con base en el MDT generado, utilizando la herramienta SIG Whitebox Tools (Lindsay, 2016), se realizó la delimitación de las cuencas priorizadas. Para ello se determinó el mapa de direcciones de flujo mediante el algoritmo D8, a partir del cual es posible determinar las celdas (píxeles) que drenan hasta

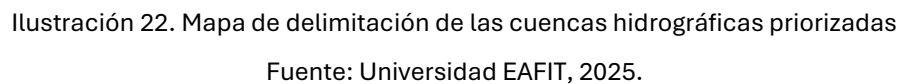
los diferentes puntos de control. En la Ilustración 22 se presentan el mapa de delimitación de las cuencas hidrográficas asociadas a las corrientes priorizadas, cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Ubicación de los puntos de cierre de las cuencas priorizadas. MAGNA Sirgas Origen Nacional

ID	Cuenca	X (m)	Y (m)
1	Q. Santa Elena	4.717.699	2.248.497
2	Q. La Picacha	4.714.601	2.248.953
3	Q. La Iguana	4.715.191	2.250.370
4	Q. Doña María	4.708.624	2.241.125
5	Q. La Presidenta	4.715.358	2.244.680
6	Q. La Poblada	4.715.035	2.245.206
7	Q. Ana Diaz	4.713.257	2.249.942
8	Q. La Hondita	4.719.290	2.251.269
9	Q. La Hueso	4.714.673	2.249.429
10	Q. Potreritos	4.707.918	2.252.445
11	Q. La Volcana	4.716.982	2.242.677
12	Q. La Seca	4.717.247	2.255.900
13	Q. La Lejía	4.703.342	2.259.517
14	Q. La Escopetería	4.716.827	2.243.749
15	Q. La Sucia	4.698.796	2.262.753
16	Q. La Frisola	4.701.480	2.258.977
17	Q. La Aguacatala	4.714.509	2.243.278
18	Q. La Puerta - Borbollona	4.711.502	2.252.469
19	Q. El Nato	4.720.329	2.247.261
20	Q. La Astillera	4.703.453	2.247.822
21	Q. Altavista	4.714.889	2.247.541
22	Q. Zúñiga	4.714.771	2.241.915
23	Q. El Hato - La Guayaba	4.709.750	2.252.411
24	Q. Canaveral - El Zancudo	4.717.357	2.253.554
25	Q. La Gómez	4.713.201	2.251.990
26	Q. La Guayabala	4.712.538	2.244.313
27	Q. El Ahorcado	4.716.714	2.250.869
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	4.717.391	2.248.804
29	Q. La Limona	4.708.431	2.241.010
30	Q. Piedra Gorda	4.724.102	2.249.446
31	Q. Piedras Blancas	4.723.413	2.253.864
32	Q. Miserenga	4.699.541	2.261.651
33	Q. Malpaso	4.715.556	2.251.550
34	Q. La Puerta	4.707.079	2.253.924
35	Q. La Pelahueso	4.711.481	2.250.257
36	Q. La Madera	4.717.244	2.256.109
37	Q. La Castro	4.719.263	2.247.407
38	Q. La Cantera Ramal Sur	4.714.918	2.253.335

ID	Cuenca	X (m)	Y (m)
39	Q. La Quintana	4.715.848	2.252.713
40	Q. La Chorrera - El Molino	4.716.527	2.251.775
41	Q. La Paulita	4.714.743	2.242.000
42	Q. La Moñonga	4.714.396	2.251.809
43	Q. La Bermejala	4.716.151	2.252.469
44	Q. La Leonarda	4.709.766	2.250.155
45	Q. La Guayaba	4.708.939	2.247.418
46	Q. La Larga	4.704.540	2.245.230
47	Q. Agua Fría	4.707.952	2.252.533
48	Q. La Despensa	4.705.513	2.243.262
49	Q. La Honda	4.716.938	2.251.122
50	Q. Minitas	4.703.705	2.248.797
51	Q. La Cañada	4.707.452	2.242.588
52	Q. La Arenera	4.705.613	2.251.214
53	Q. La García	4.711.754	2.253.278
54	Q. La Zorrita	4.705.100	2.241.507
55	Q. La Potrera	4.708.170	2.252.284
56	Q. La Mauala	4.708.165	2.240.950
57	Q. La Manguala	4.708.187	2.241.603
58	Q. La Rafita	4.718.611	2.249.126
59	Q. La Candela	4.704.991	2.244.256
60	Q. El Rosario	4.723.900	2.251.531

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



El área de la cuenca hidrográfica es uno de los parámetros más determinantes en el proceso de transformación de la lluvia en escorrentía, ya que define el volumen espacial donde interactúan los distintos componentes hidrológicos. No obstante, existen otros parámetros morfométricos igualmente relevantes que influyen en la respuesta hidrológica de la cuenca, entre los que se destacan:

- www.eafit.edu.co**

Adicionalmente, indicadores como el factor de forma y el índice de compacidad, proporcionan información útil sobre la tendencia de respuesta hidrológica de la cuenca frente a eventos extremos, permitiendo inferir su potencial de concentración de caudales, tiempos de respuesta y comportamiento ante lluvias intensas.

Cuencas con formas alargadas, pendientes suaves y longitudes de flujo mayores tienden a presentar tiempos de concentración más largos, lo cual influye en la forma y el pico del hidrograma de escorrentía. Comprender esta relación es esencial para la correcta estimación de caudales máximos, ya que permite determinar la duración crítica de las tormentas de diseño utilizadas en los modelos lluvia-escorrentía.

Por su parte, el tiempo de concentración es una variable hidrológica fundamental que representa el intervalo necesario para que una gota de agua ubicada en el punto más alejado de la cuenca alcance la salida del sistema. Este parámetro es una consecuencia directa de la morfometría de la cuenca, ya que depende de factores como la longitud y pendiente del cauce principal, la pendiente promedio del terreno, el área drenada, y las características del relieve en general.

En la Tabla 15 se presentan los principales parámetros morfométricos de las cuencas priorizadas.

Tabla 15. Parámetros morfométricos de las cuencas priorizadas

ID	Cuenca	Parámetros						
		A (km ²)	P (km)	L cauce (km)	L cuenca (km)	CMaxC (m.s.n.m.)	CMinC (m.s.n.m.)	P cauce (%)
1	Q. Santa Elena	35,56	41.90	12.50	12.76	2740	1526	9.7
2	Q. La Picacha	10,69	29.32	11.96	12.15	2533	1464	8.9
3	Q. La Iguaá	50,96	54.50	17.66	17.84	3135	1458	9.5
4	Q. Doña María	61,43	52.77	19.59	19.77	3095	1621	7.5
5	Q. La Presidenta	8,72	18.70	6.46	6.62	2795	1502	20.0
6	Q. La Poblada	13,57	23.08	7.34	7.50	2795	1488	17.8
7	Q. Ana Díaz	9,25	27.04	10.74	10.99	2629	1478	10.7
8	Q. La Hondita	0,40	3.73	1.06	1.39	2460	1921	50.8
9	Q. La Hueso	24,75	33.91	12.48	12.73	2629	1462	9.3
10	Q. Potreritos	10,24	19.14	5.75	6.31	3023	1832	20.7
11	Q. La Volcana	0,72	7.26	2.42	3.07	2691	1783	37.5
12	Q. La Seca	3,66	14.28	5.33	5.91	2540	1436	20.7
13	Q. La Lejía	5,02	13.65	4.84	4.92	3115	1882	25.5
14	Q. La Escopetería	1,93	8.91	3.22	3.58	2630	1675	29.7
15	Q. La Sucia	76,36	56.02	16.67	16.88	3105	1085	12.1
16	Q. La Frisola	13,68	24.03	9.89	10.02	3105	1568	15.5
17	Q. La Aguacatala	4,50	19.37	7.26	7.65	2726	1506	16.8
18	Q. La Puerta - Borbollona	2,95	13.95	5.32	5.54	2790	1623	21.9
19	Q. El Ñato	3,42	11.50	3.49	3.61	2555	1733	23.6
20	Q. La Astillera	7,46	17.15	7.24	7.42	3095	2049	14.4
21	Q. Altavista	25,31	35.74	11.19	11.32	2410	1472	8.4
22	Q. Zúñiga	1,56	13.94	5.46	5.50	2590	1534	19.4
23	Q. El Hato - La Guayaba	1,13	10.78	4.17	4.49	2736	1759	23.4
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	1,14	9.36	3.77	4.04	2570	1520	27.8

ID	Cuenca	Parámetros						
		A (km ²)	P (km)	L cauce (km)	L cuenca (km)	CMaxC (m.s.n.m.)	CMinC (m.s.n.m.)	P cauce (%)
25	Q. La Gómez	1,72	12.99	5.10	5.44	2615	1526	21.4
26	Q. La Guayabala	4,68	14.48	5.49	5.59	2184	1542	11.7
27	Q. El Ahorcado	1,24	8.90	3.43	3.80	2116	1492	18.2
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	1,09	10.04	3.41	3.99	2392	1520	25.6
29	Q. La Limona	3,23	13.07	5.49	5.61	2602	1636	17.6
30	Q. Piedra Gorda	3,51	13.94	3.48	3.53	2526	2430	2.8
31	Q. Piedras Blancas	23,64	36.78	10.06	10.11	2526	2345	1.8
32	Q. Miserenga	10,13	22.61	8.43	8.51	3085	1170	22.7
33	Q. Malpaso	3,95	19.82	7.53	7.71	2620	1453	15.5
34	Q. La Puerta	3,71	12.62	4.32	4.56	2887	1945	21.8
35	Q. La Pelahueso	2,25	8.70	3.07	3.25	1865	1508	11.6
36	Q. La Madera	3,38	18.08	7.53	7.79	2740	1437	17.3
37	Q. La Castro	4,32	15.78	5.50	5.67	2557	1632	16.8
38	Q. La Cantera Ramal Sur	0,64	9.54	3.50	3.82	2285	1539	21.3
39	Q. La Quintana	1,85	13.83	5.34	5.52	2355	1452	16.9
40	Q. La Chorrera - El Molino	5,96	15.72	5.33	6.91	2545	1458	20.4
41	Q. La Paulita	1,24	11.24	4.12	4.74	2257	1534	17.5
42	Q. La Moñonga	3,63	17.14	6.23	6.41	2620	1488	18.2
43	Q. La Bermejala	3,60	14.84	5.71	5.77	2574	1450	19.7
44	Q. La Leonarda	2,13	11.10	4.97	5.15	2345	1586	15.3
45	Q. La Guayaba	0,10	1.88	0.54	0.64	1918	1731	34.6
46	Q. La Larga	6,55	16.97	5.49	5.70	2550	1900	11.8
47	Q. Agua Fría	1,31	13.06	5.42	5.53	2795	1828	17.9
48	Q. La Despensa	2,17	10.22	3.91	3.99	2740	1818	23.6
49	Q. La Honda	3,42	13.04	4.42	5.99	2545	1503	23.6
50	Q. Minitas	1,27	7.34	2.32	2.42	2638	2185	19.5
51	Q. La Cañada	0,09	2.93	0.93	1.24	1877	1705	18.6
52	Q. La Arenera	1,45	6.88	1.81	1.98	2655	2155	27.6
53	Q. La García	1,08	8.92	3.38	3.82	2720	1791	27.5
54	Q. La Zorrita	0,22	3.74	1.38	1.61	2575	2038	38.9
55	Q. La Potrera	0,72	5.90	2.13	2.39	2345	1816	24.8
56	Q. La Mauala	0,48	7.61	3.07	3.33	2055	1662	12.8
57	Q. La Manguala	3,97	16.68	6.66	6.98	2807	1656	17.3
58	Q. La Rafita	0,47	5.17	1.73	2.07	2198	1711	28.1
59	Q. La Candela	1,76	8.61	3.23	3.29	2449	1865	18.1
60	Q. El Rosario	4,14	19.19	5.82	5.90	2530	2395	2.3
A: Área, P: Perímetro, L cauce: longitud de cauce, L cuenca: longitud de cuenca, CmaxC: cota máxima del cauce, CminC: cota mínima del cauce, P cauce: pendiente del cauce								

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4 Estimación de caudales máximos

El objetivo principal del estudio hidrológico en el marco de la gestión del riesgo por inundación y avenidas torrenciales consiste en determinar la respuesta hidrológica de la cuenca ante la ocurrencia

de eventos extremos de precipitación. El proceso de estimación de los caudales máximos se esquematiza de forma simplificada en la Ilustración 23.

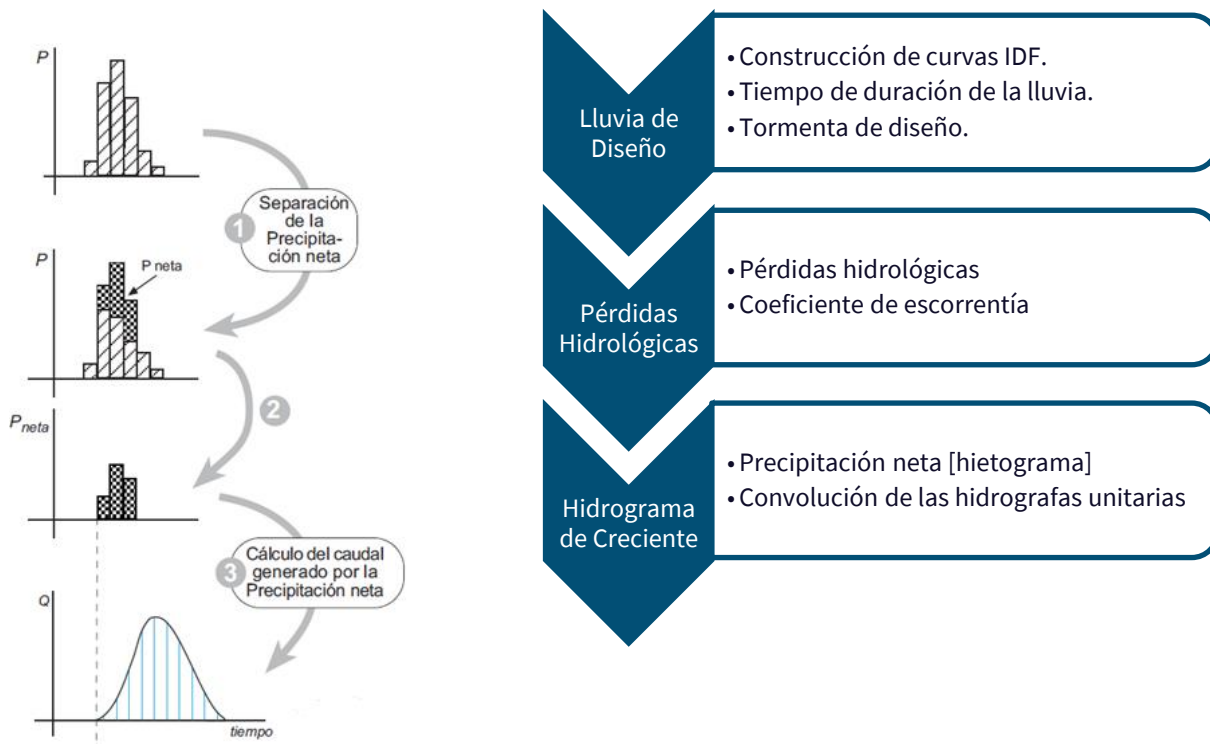


Ilustración 23. Esquematización del proceso de estimación de caudales máximos

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

El estudio hidrológico comprende el cálculo de caudales máximos para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años en las cuencas priorizadas. Como se describió anteriormente, debido a la escasez de información hidrológica que permita estimar caudales a partir de un análisis histórico (estadístico), se implementaron los siguientes modelos lluvia – escorrentía:

- Hidrógrafa unitaria del NRCS (“Soil Conservation Service”)
- Hidrógrafa unitaria de Snyder
- Hidrógrafa unitaria de Clark
- Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann
- Método Racional

2.4.1 Caracterización de la tormenta de diseño

La caracterización de la tormenta de diseño consiste en estimar su variabilidad espaciotemporal en cada una de las cuencas estudiadas. Para ello se determinó que la duración de la tormenta fuese igual al tiempo de concentración de la cuenca, representando la condición hidrológica más crítica dado que toda el área de la cuenca contribuye simultáneamente a la escorrentía.

Con base en la duración de la lluvia y la información de IDF disponible en las estaciones de precipitación, fue posible estimar la intensidad del evento para los diferentes períodos de retorno. La distribución espacial de los eventos se determinó con base en la distribución espacial de las estaciones, asumiendo que el área de influencia de estas corresponde al polígono interpolado mediante la metodología propuesta por (Thiessen, 1911). La distribución es temporal de los eventos se realizó mediante la metodología de bloques alternantes propuesta por (Chow, 1988).

2.4.1.1 Duración de la tormenta

Como se describió anteriormente, se asumió una duración de tormenta igual al tiempo de concentración. En la literatura para el caso de cuencas no instrumentadas, existen dos métodos de tipo empírico para estimar el tiempo de concentración: el primero tipo trata de relacionar el TC con algunas de las características morfométricas de la cuenca y su cauce principal; el segundo tipo corresponde al método de la velocidad, que considera que el flujo en la cuenca se desarrolla como una combinación de un flujo laminar (a escala de ladera), un flujo concentrado superficial y el flujo presente propiamente en los canales de la red hídrica.

En este estudio hidrológico, dada la información disponible, se utilizaron solo ecuaciones del primer tipo, tales como las propuestas por: Temez, Kirpich, Clark, California Culverts Practice, Giandotti, S.C.S, Ven Te Chow, entre otras. Sus fundamentos teóricos pueden ser revisados en Campo y Múnera (1997) y Vélez y Botero (2010).

Debido a las diferentes formas en las que fueron concebidas las expresiones para determinar el tiempo de concentración (mostrados en el capítulo de Metodología), se tiene una alta variabilidad en los resultados por lo cual se utilizó un método robusto para la selección final tiempo de concentración de las cuencas priorizadas. Así, con el objetivo de excluir los tiempos de concentración que se alejaban excesivamente de la mediana, se descartaron aquellos tiempos que estuvieron por fuera de una banda de confianza con un ancho de un (1) IQR y centrada en la mediana. Este proceso correspondiente a un método estadístico para determinar valores atípicos y establecer una banda de confianza para los resultados de la variable, en este caso, el tiempo de concentración asociado a cuencas. Con el fin de dar claridad al procedimiento utilizado, es importante indicar que el Rango Intercuartílico (IQR) es una medida de dispersión que se calcula restando el primer cuartil (Q1) del tercer cuartil (Q3). Al usar el IQR centrado en la mediana, se establece un rango de valores que se considera "aceptable" o "normal" y éste no corresponde al promedio de los valores obtenidos.

Para la mayoría de las cuencas, se excluyó el valor extremo de los datos para no generar alta dispersión y obtener así un promedio más representativo de los valores analizados. Se indican los pasos a seguir para determinar el tiempo de concentración seleccionado o escogido:

1. Se determina la Mediana de los datos excluyendo el valor extremo
2. Se calcula el Rango Intercuartílico (IQR) como la diferencia entre el primer cuartil (Q1) el tercer cuartil (Q3)
3. Se identifica el límite inferior y superior como " $Mediana \pm IQR/2$ "

4. Se calcula el T_c final como el promedio de los datos dentro de los límites.

En la Tabla 16 se presentan los resultados estimados para las cuencas estudiadas mediante los principales métodos utilizados, a manera de ejemplo se indican algunos resultados de los métodos trabajados pero los estadísticos fueron determinados para el conjunto de datos completos donde finalmente se encontró el tiempo de concentración a ser considerado dentro del análisis hidrológico. Los datos completos se encuentran en el anexo 5 Hidrología - Tiempos de concentracion_ T_c .

Tabla 16. Tiempos de concentración obtenidos para las cuencas priorizadas

ID	Cuenca	Tiempos de concentración (minutos)							
		Kirpich	Témez	CCP	Giandotti	SCS	Mediana	IQR	Escogido
1	Q. Santa Elena	68,2	191,2	67,1	89,5	242,5	137,5	105,3	133,0
2	Q. La Picacha	68,1	187,8	68,0	70,9	170,3	98,8	48,9	102,0
3	Q. La Iguaá	89,8	249,6	89,9	100,8	302,8	154,7	110,4	159,0
4	Q. Doña María	106,4	282,3	106,3	118,3	352,7	179,8	152,0	167,0
5	Q. La Presidenta	31,1	100,9	31,1	44,8	74,2	59,9	50,5	61,0
6	Q. La Poblada	35,9	113,7	35,9	53,3	85,2	71,8	54,7	76,0
7	Q. Ana Díaz	58,4	167,1	57,9	61,7	161,0	88,7	47,1	93,0
8	Q. La Hondita	5,4	21,4	5,3	12,9	11,4	12,6	11,8	11,0
9	Q. La Hueso	69,2	192,3	68,6	83,7	166,4	123,0	78,8	123,0
10	Q. Potreritos	28,0	91,7	27,4	45,2	84,7	56,9	50,5	62,0
11	Q. La Volcana	11,5	42,4	11,5	17,4	23,8	22,2	16,8	24,0
12	Q. La Seca	26,4	86,5	26,4	35,2	58,8	47,5	29,9	49,0
13	Q. La Lejía	22,6	77,3	22,6	34,6	81,7	45,0	39,2	46,0
14	Q. La Escopetería	15,6	55,1	15,6	25,1	30,2	30,1	25,2	30,0
15	Q. La Sucia	78,2	228,0	78,1	99,7	281,7	160,8	143,5	161,0
16	Q. La Frisola	47,5	146,3	47,6	56,7	168,5	86,1	53,8	88,0
17	Q. La Aguacatala	36,3	113,9	36,1	41,1	86,2	54,9	36,2	56,0
18	Q. La Puerta - Borbollona	25,8	85,5	25,7	32,4	83,3	44,8	38,1	40,0
19	Q. El Nato	18,1	61,2	18,1	32,8	61,4	36,5	36,6	32,0
20	Q. La Astillera	38,5	117,1	38,4	50,3	120,0	66,9	43,0	69,0
21	Q. Altavista	66,3	180,7	66,4	90,4	165,0	125,5	72,9	125,0
22	Q. Zúñiga	27,6	89,3	27,4	30,1	58,8	34,7	26,3	31,0
23	Q. El Hato - La Guayaba	20,9	70,2	20,8	25,0	68,5	29,8	25,4	27,0
24	Q. Canaveral - El Zancudo	18,1	63,0	18,1	23,0	35,8	28,2	20,1	26,0
25	Q. La Gómez	25,2	83,2	25,3	29,3	65,5	37,2	29,7	32,0
26	Q. La Guayabala	33,7	98,8	33,4	49,2	91,3	58,1	40,1	59,0
27	Q. El Ahorcado	19,8	63,5	18,3	26,0	39,4	31,8	22,2	31,0
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	17,3	59,3	17,3	23,6	34,9	28,2	19,3	29,0
29	Q. La Limona	28,8	91,4	28,8	37,2	73,2	48,7	37,7	47,0
30	Q. Piedra Gorda	41,3	91,8	32,9	72,0	210,4	67,3	38,0	70,0
31	Q. Piedras Blancas	110,4	223,2	96,2	160,6	582,3	152,0	89,3	141,0
32	Q. Miserenga	36,3	120,6	36,4	43,5	135,5	66,6	49,9	68,0
33	Q. Malpaso	38,6	119,0	38,6	42,3	86,6	57,3	38,0	53,0
34	Q. La Puerta	22,0	73,1	22,1	34,7	73,5	43,2	44,2	37,0

ID	Cuenca	Tiempos de concentración (minutos)							
		Kirpich	Témez	CCP	Giandotti	SCS	Mediana	IQR	Escogido
35	Q. La Pelahueso	21,6	63,6	20,4	39,0	45,6	39,9	30,9	40,0
36	Q. La Madera	37,0	116,5	37,0	38,7	101,8	52,7	36,8	47,0
37	Q. La Castro	29,4	92,3	29,4	40,8	96,6	52,3	42,8	51,0
38	Q. La Cantera Ramal Sur	18,9	62,6	18,9	23,1	46,1	23,4	20,4	22,0
39	Q. La Quintana	28,6	90,1	28,6	33,6	62,2	40,9	28,8	36,0
40	Q. La Chorrera - El Molino	26,6	86,8	26,3	39,8	56,8	51,0	43,7	52,0
41	Q. La Paulita	23,1	73,5	23,2	29,7	42,1	33,6	22,5	31,0
42	Q. La Moñonga	31,4	99,9	31,4	37,8	69,2	51,6	35,7	53,0
43	Q. La Bermejala	28,4	92,1	28,4	36,0	52,4	49,1	29,8	50,0
44	Q. La Leonarda	28,1	86,9	28,2	36,2	67,9	39,6	30,9	36,0
45	Q. La Guayaba	3,7	13,8	3,7	11,4	9,2	8,9	7,6	9,0
46	Q. La Larga	33,6	98,5	32,2	51,5	110,0	62,5	41,1	65,0
47	Q. Agua Fría	28,3	90,2	28,3	30,5	103,3	32,5	27,2	30,0
48	Q. La Despensa	19,8	66,8	19,8	29,0	59,4	36,1	34,8	30,0
49	Q. La Honda	21,7	73,2	21,5	32,0	48,4	42,9	29,9	43,0
50	Q. Minitas	14,3	46,6	14,1	27,5	43,2	28,7	27,4	24,0
51	Q. La Cañada	7,2	23,4	7,2	14,9	11,6	11,3	10,5	10,0
52	Q. La Arenera	10,3	36,1	9,5	22,7	28,4	22,8	18,9	24,0
53	Q. La García	16,7	58,0	16,6	22,5	47,9	28,4	26,4	25,0
54	Q. La Zorrita	7,3	27,5	7,3	12,8	19,9	13,4	13,6	12,0
55	Q. La Potrera	12,2	41,7	12,2	21,5	29,6	24,2	23,6	22,0
56	Q. La Mauala	20,8	62,5	20,9	28,0	44,5	25,5	18,5	23,0
57	Q. La Manguala	33,7	106,2	33,7	39,7	90,4	53,9	40,3	52,0
58	Q. La Rafita	9,9	34,8	9,9	18,1	21,0	19,0	16,5	17,0
59	Q. La Candela	19,0	60,7	18,5	30,6	58,9	33,9	33,4	29,0
60	Q. El Rosario	65,7	140,3	60,9	98,4	322,4	91,8	39,3	95,0

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.2 Distribución espacial de la tormenta

Para determinar la distribución espacial de la tormenta de diseño se realizó la intersección de las cuencas priorizadas con las áreas de influencia definidas para las estaciones de precipitación utilizadas (polígonos de Thiessen) mediante la utilización de herramientas SIG. En la Tabla 17 y Tabla 18 se presenta el área y el porcentaje superposición de cada cuenca en cada uno de los polígonos de influencia de las estaciones con información de IDF.

De esta manera fue posible determinar la magnitud de la tormenta de diseño, la cual se calculó como la magnitud de la tormenta estimada con base en cada una de las estaciones con curvas IDF ponderadas por el área de superposición definida en este análisis.

$$P_{\text{cuenca}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_{\text{total}}} \cdot P_i \right)$$

Donde, P"cuena" es la precipitación ponderada para la cuenca, en mm, A_i es el área de la cuenca asociada al polígono asociado a la estación i , en km^2 , P_i es la precipitación en la estación i , en mm/h, $A_{\text{"total"}}$ es el área total de la cuenca, en km^2

Tabla 17. Áreas de influencia de las estaciones con información IDF para cada cuenca (km²)

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
1	Q. Santa Elena	8,61	0,00	0,00	14,28	9,38	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	35,56
2	Q. La Picacha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,00	6,01	3,70	0,00	0,19	10,69
3	Q. La Iguaná	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,58	3,42	0,00	2,96	50,96
4	Q. Doña María	0,00	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,15	0,00	0,00	0,00	0,00	24,80	61,43
5	Q. La Presidenta	5,30	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,36	0,00	8,72
6	Q. La Poblada	10,15	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,36	0,00	13,57
7	Q. Ana Díaz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	1,22	0,00	0,48	9,25
8	Q. La Hondita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
9	Q. La Hueso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,58	6,68	0,00	0,48	24,75
10	Q. Potreritos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,28	0,00	0,00	2,96	10,24
11	Q. La Volcana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,72
12	Q. La Seca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
13	Q. La Lejía	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	4,79	0,00	0,00	0,00	5,02
14	Q. La Escopeteria	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	1,93
15	Q. La Sucia	0,00	0,00	15,26	0,00	0,00	0,00	7,47	0,00	0,00	12,97	0,00	0,00	40,66	76,36
16	Q. La Frisola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,99	0,00	0,00	8,69	13,68
17	Q. La Aguacatala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	4,50
18	Q. La Puerta - Borbollona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	0,00	0,00	0,00	2,95
19	Q. El Ñato	0,11	0,00	0,00	0,00	3,13	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42
20	Q. La Astillera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,46	7,46
21	Q. Altavista	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17	0,00	0,75	4,67	0,97	0,00	25,31
22	Q. Zúñiga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,00	1,56
23	Q. El Hato - La Guayaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	1,13
24	Q. Canaveral - El Zancudo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14
25	Q. La Gómez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,39	0,00	0,00	1,72
26	Q. La Guayabala	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,76	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	4,68

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
27	Q. El Ahorcado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,01	0,00	0,00	1,24
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09
29	Q. La Limona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23
30	Q. Piedra Gorda	0,00	0,00	0,00	0,80	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,51
31	Q. Piedras Blancas	0,00	0,00	0,00	1,04	17,76	4,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,64
32	Q. Miserenga	0,00	0,00	7,17	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,13
33	Q. Malpaso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	2,64	0,00	0,00	3,95
34	Q. La Puerta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71	0,00	0,00	0,00	3,71
35	Q. La Pelahueso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	2,25
36	Q. La Madera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,11	1,38	0,81	0,00	0,00	3,38
37	Q. La Castro	0,16	0,00	0,00	0,00	2,41	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32
38	Q. La Cantera Ramal Sur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,49	0,00	0,00	0,64
39	Q. La Quintana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	1,39	0,00	0,00	1,85
40	Q. La Chorrera - El Molino	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	5,22	0,00	0,09	0,00	0,00	5,96
41	Q. La Paulita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	0,00	1,24
42	Q. La Moñonga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	2,31	0,00	0,00	3,63
43	Q. La Bermejala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	3,01	0,00	0,58	0,00	0,00	3,60
44	Q. La Leonarda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	0,00	0,00	0,00	2,13
45	Q. La Guayaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
46	Q. La Larga	0,00	4,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	6,55
47	Q. Agua Fría	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	0,00	0,00	0,00	1,31
48	Q. La Despensa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17
49	Q. La Honda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42
50	Q. Minutas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	1,27
51	Q. La Cañada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
52	Q. La Arenera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,93	1,45
53	Q. La García	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	1,08

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
54	Q. La Zorrita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
55	Q. La Potrera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,72
56	Q. La Mauala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
57	Q. La Manguala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97
58	Q. La Rafita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
59	Q. La Candela	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76
60	Q. El Rosario	0,00	0,00	0,00	0,23	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,14

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 18. Porcentaje de áreas de influencia de las estaciones con información IDF para cada cuenca (%)

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
1	Q. Santa Elena	24,20	0,00	0,00	40,14	26,38	0,00	0,00	0,00	9,27	0,00	0,00	0,00	0,00	100
2	Q. La Picacha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,29	0,00	56,28	34,66	0,00	1,77	100
3	Q. La Iguaná	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,48	6,71	0,00	5,81	100
4	Q. Doña María	0,00	7,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,33	0,00	0,00	0,00	0,00	40,37	100
5	Q. La Presidenta	60,74	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,55	0,00	100
6	Q. La Poblada	74,78	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,77	0,00	100
7	Q. Ana Díaz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,62	13,14	0,00	5,24	100
8	Q. La Hondita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
9	Q. La Hueso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,04	27,01	0,00	1,96	100
10	Q. Potreritos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,08	0,00	0,00	28,92	100
11	Q. La Volcana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100
12	Q. La Seca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,41	0,00	0,00	6,59	0,00	0,00	0,00	0,00	100
13	Q. La Lejía	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,60	0,00	0,00	95,40	0,00	0,00	0,00	100
14	Q. La Escopetería	7,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,97	0,00	100
15	Q. La Sucia	0,00	0,00	19,98	0,00	0,00	0,00	9,78	0,00	0,00	16,99	0,00	0,00	53,25	100
16	Q. La Frisola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,47	0,00	0,00	63,53	100
17	Q. La Aguacatala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100
18	Q. La Puerta - Borbollona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
19	Q. El Ñato	3,24	0,00	0,00	0,00	91,50	0,00	0,00	0,00	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00	100
20	Q. La Astillera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100
21	Q. Altavista	30,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,15	0,00	2,96	18,45	3,83	0,00	100
22	Q. Zúñiga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100
23	Q. El Hato - La Guayaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
24	Q. Canaveral - El Zancudo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,60	0,00	0,00	89,40	0,00	0,00	0,00	0,00	100
25	Q. La Gómez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,55	22,45	0,00	0,00	100
26	Q. La Guayabala	6,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,48	0,00	0,00	0,00	12,73	0,00	100

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
27	Q. El Ahorcado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,19	0,00	0,81	0,00	0,00	100
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,51	0,00	0,00	0,00	0,00	100
29	Q. La Limona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
30	Q. Piedra Gorda	0,00	0,00	0,00	22,94	77,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
31	Q. Piedras Blancas	0,00	0,00	0,00	4,38	75,13	20,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
32	Q. Miserenga	0,00	0,00	70,72	0,00	0,00	0,00	29,23	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	100
33	Q. Malpaso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,29	66,71	0,00	0,00	100
34	Q. La Puerta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
35	Q. La Pelahueso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
36	Q. La Madera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	0,00	3,23	40,88	23,90	0,00	0,00	100
37	Q. La Castro	3,76	0,00	0,00	0,00	55,83	0,00	0,00	0,00	40,41	0,00	0,00	0,00	0,00	100
38	Q. La Cantera Ramal Sur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,73	76,27	0,00	0,00	100
39	Q. La Quintana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,02	74,98	0,00	0,00	100
40	Q. La Chorrera - El Molino	0,00	0,00	0,00	0,00	10,77	0,00	0,00	0,00	87,64	0,00	1,59	0,00	0,00	100
41	Q. La Paulita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100
42	Q. La Moñonga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,25	63,75	0,00	0,00	100
43	Q. La Bermejala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,32	0,00	0,00	83,61	0,00	16,05	0,00	0,00	100
44	Q. La Leonarda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
45	Q. La Guayaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
46	Q. La Larga	0,00	67,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,56	0,00	0,00	0,00	0,00	4,78	100
47	Q. Agua Fría	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
48	Q. La Despensa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
49	Q. La Honda	0,00	0,00	0,00	0,00	15,63	0,00	0,00	0,00	84,37	0,00	0,00	0,00	0,00	100
50	Q. Minutas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100
51	Q. La Cañada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
52	Q. La Arenera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,92	0,00	0,00	64,08	100
53	Q. La García	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100

ID	Cuenca	Código estación													
		1	27010 770	26230 180	23080 24	27010 34	27010 35	27010 37	27010 38	27010 45	27010 46	27010 47	27010 93	27011 15	Suma
54	Q. La Zorrita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
55	Q. La Potrera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
56	Q. La Mauala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
57	Q. La Manguala	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
58	Q. La Rafita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
59	Q. La Candela	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
60	Q. El Rosario	0,00	0,00	0,00	5,61	94,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.3 Magnitud de la tormenta

Para estimar la magnitud de la tormenta de diseño (intensidad o profundidad) se utilizó la información de las estaciones con información de precipitación en el área de interés (ver sección 1.1.1.1.2). Para las estaciones operadas por EPM, las cuales cuentan con información de curvas IDF, los valores se determinaron según lo descrito en la sección 1.1.1.4.4.1. Mientras que, para las estaciones operadas por el IDEAM, las cuales no cuentan con información de curvas IDF, se realizó su reconstrucción con base en la metodología de regionalización propuesta por Wilches (2001).

- **Estaciones operadas por EPM**

Para cada una de las estaciones operadas por EPM, se cuenta con estimaciones de curvas IDF desde el año 2005, con actualizaciones para los años 2021 y 2025. Asimismo, algunas de estas cuentan con un análisis de escenarios de cambio climático, según un estudio de la Universidad Nacional de Colombia (2017).

De esta forma, para cada estación analizada se tienen entre tres (3) y cinco (5) estimaciones de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno.

- Escenario 1: Revista hidrometeorológica EPM del año 2005.
- Escenario 2: Revista hidrometeorológica EPM del año 2021.
- Escenario 3: Última actualización interna EPM del año 2025.
- Escenario 4: Actualización UNAL en el año 2017 con información de EPM para esa fecha.
- Escenario 5: Propuesta de escenario de cambio climático realizada por UNAL en el año 2017 con información de EPM para esa fecha.

Para establecer los valores de intensidad a emplear en la actualización de los estudios básicos de amenaza, se realizó un análisis comparativo de las curvas para un periodo de retorno de TR 100 años. En la Ilustración 24 a la Ilustración 27 se muestra la comparación para diferentes estaciones, observando que no se presenta un comportamiento consistente ya que para tiempos de concentración inferiores a 10 min los valores de intensidad de lluvia son inferiores con la estimación de cambio climático, con excepción de las estaciones San Antonio de Prado, San Cristóbal, Chorrillos. Así mismo para tiempos de concentración superiores a 10 minutos los valores de intensidad de lluvia son mayores para la estimación de cambio climático, con excepción de la estación Ayurá. Finalmente, para las estaciones Medellín y Astilleros las estimaciones del año 2021 son significativamente superiores para duraciones inferiores a 35 y 15 minutos respectivamente; para valores de duración superiores son similares.

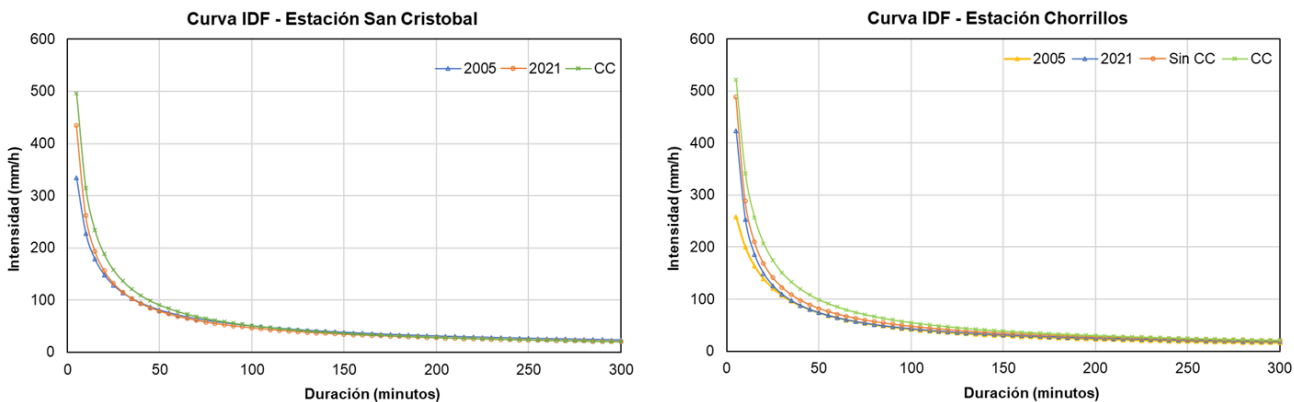


Ilustración 24. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

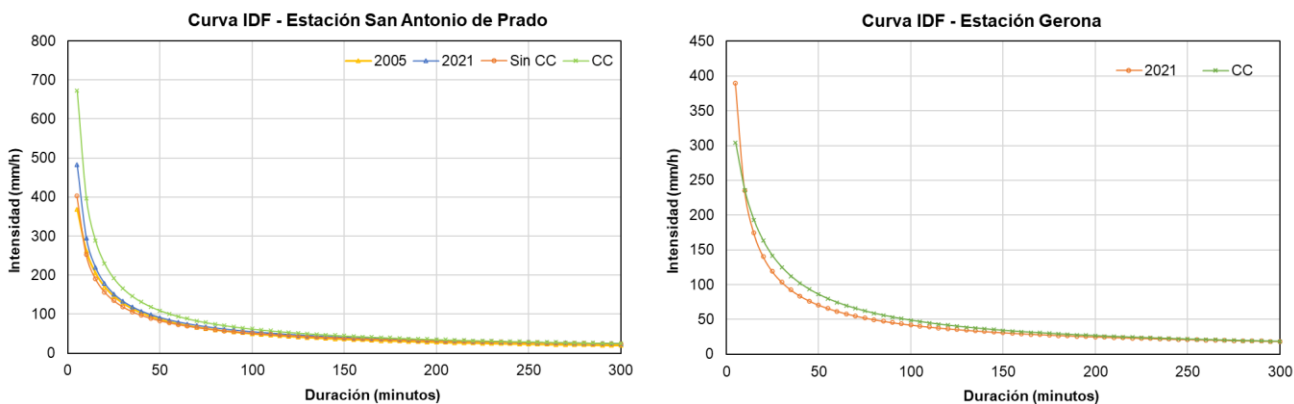


Ilustración 25. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

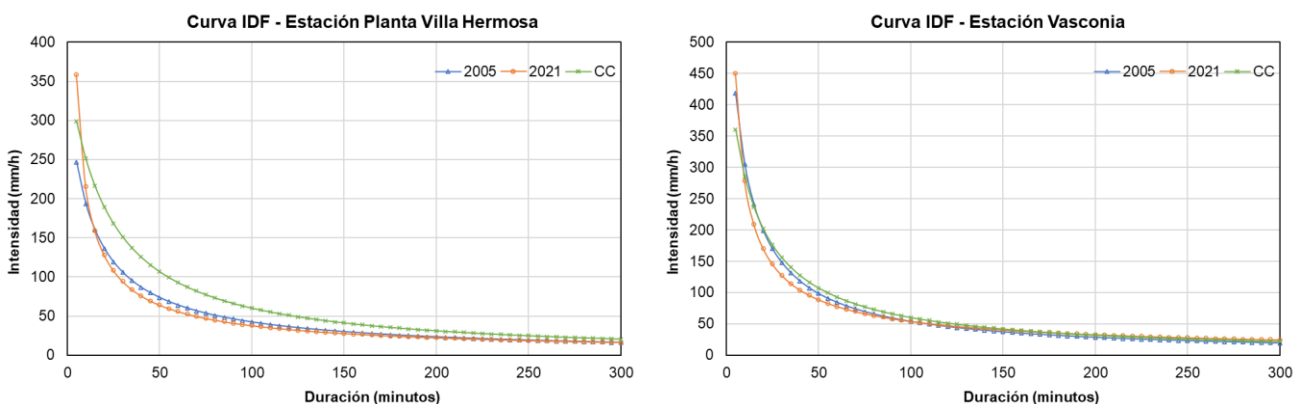


Ilustración 26. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

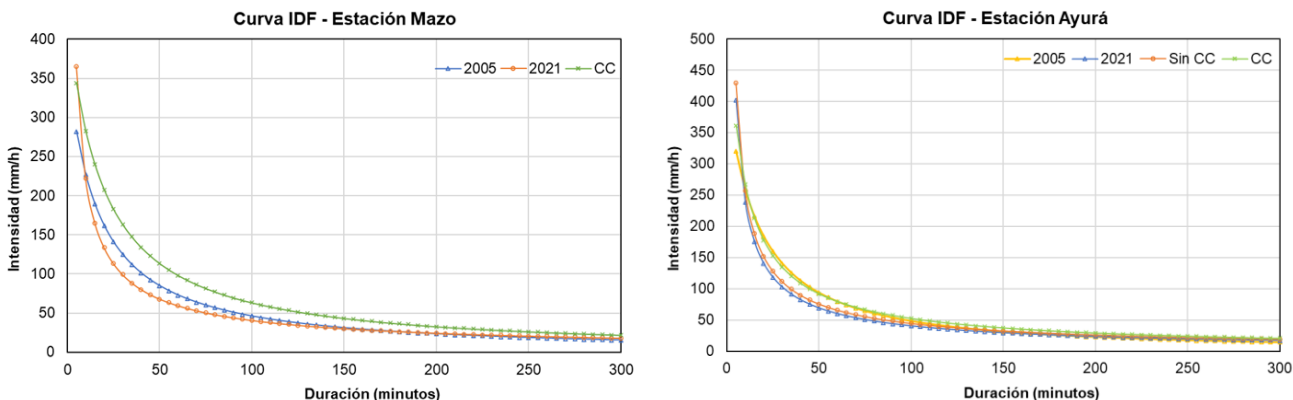


Ilustración 27. Comparación de diferentes estimaciones para las curvas IDF - T_R 100 años

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Dado que no se observa un patrón consistente en las estimaciones para todas las estaciones, se decidió generar una envolvente para las curvas IDF de tal forma que se tomen, para todas las duraciones, la intensidad más alta entre todos los valores existentes. De la Ilustración 28 a Ilustración 33 se presentan las curvas IDF obtenidas para las estaciones con influencia en las cuencas priorizadas.

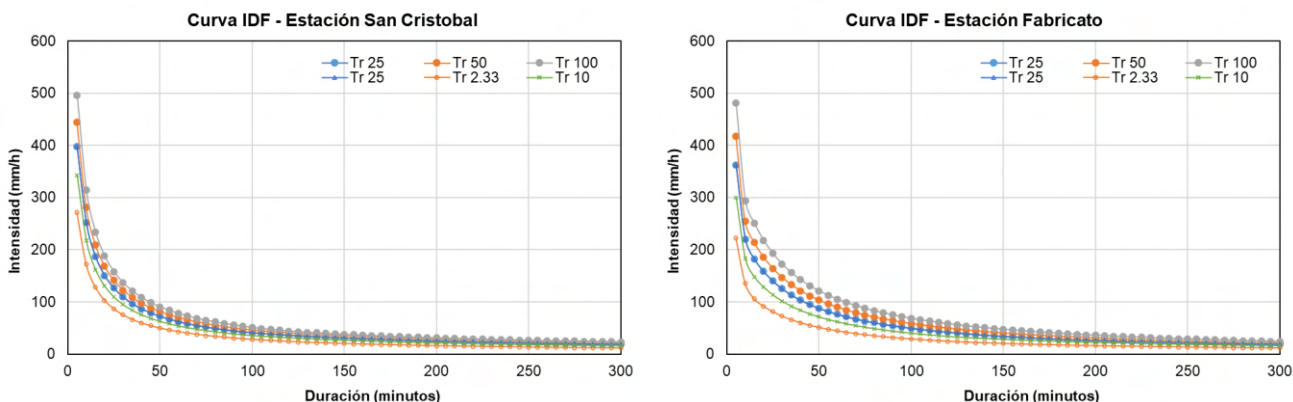


Ilustración 28. Curvas IDF para las estaciones San Cristóbal y Fabricato

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

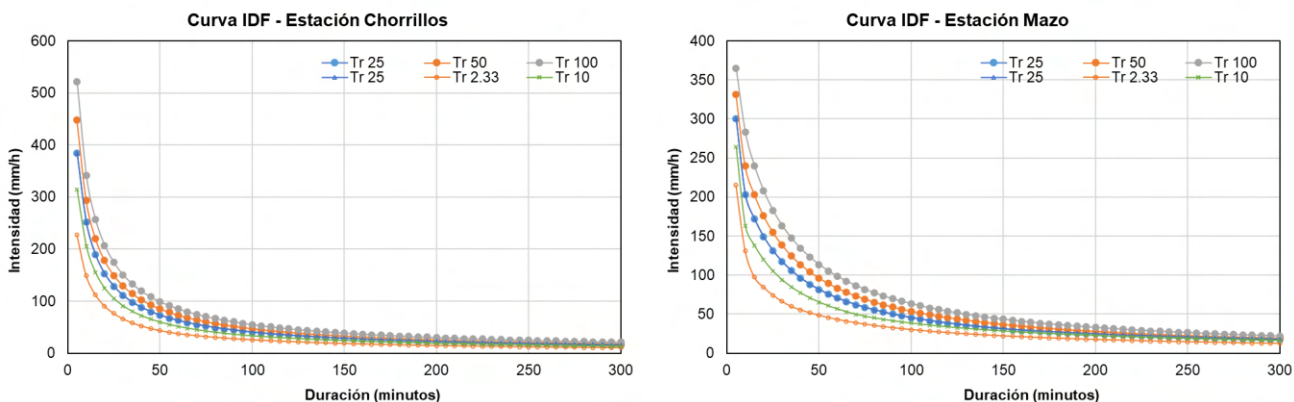


Ilustración 29. Curvas IDF para las estaciones Chorrillos y Mazo

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

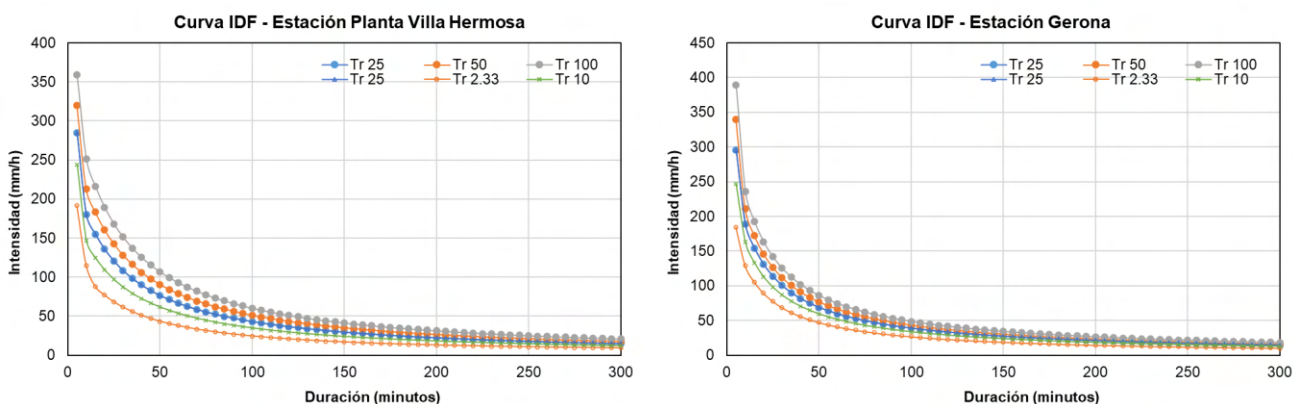


Ilustración 30. Curvas IDF para las estaciones Villa Hermosa y Gerona

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

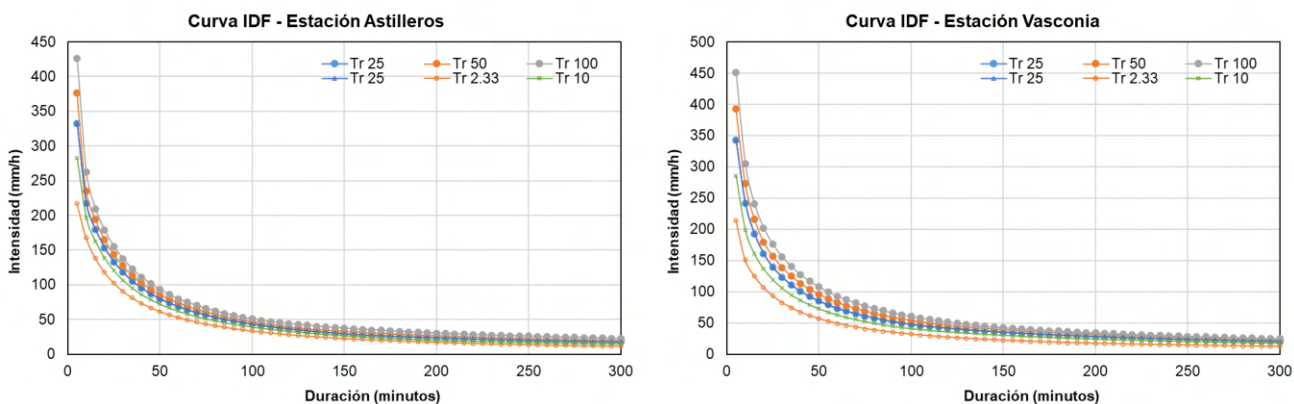


Ilustración 31. Curvas IDF para las estaciones Astillero y Vasconia

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

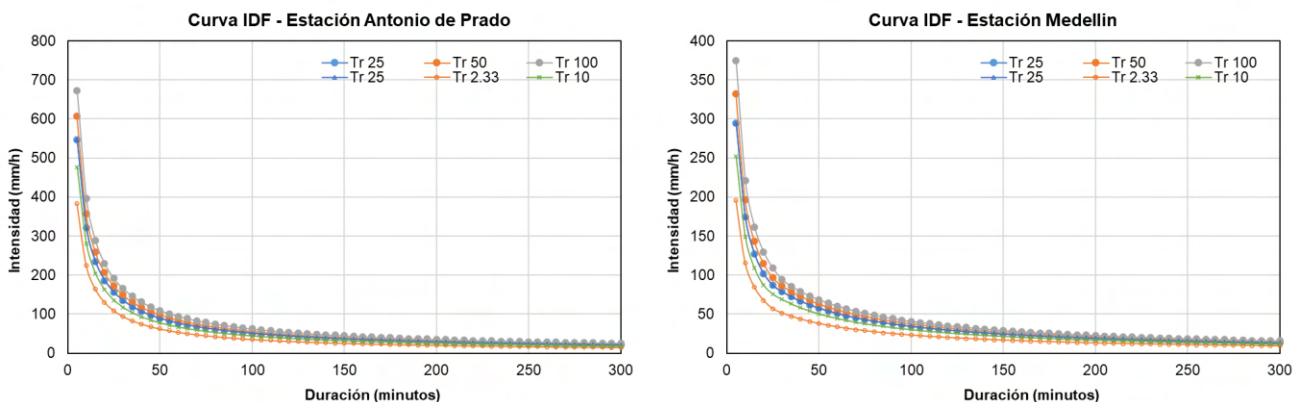


Ilustración 32. Curvas IDF para las estaciones San Antonio de Prado y Medellín

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

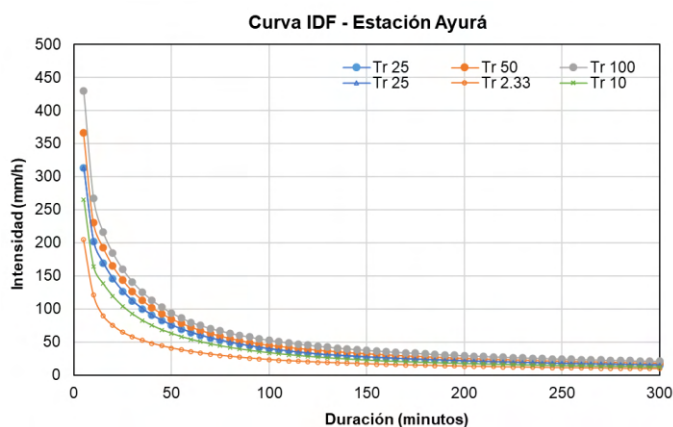


Ilustración 33. Curvas IDF para la estación Ayurá

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

En conclusión, para cada una de las cuencas analizada se estimaron las precipitaciones de diseño para cada uno de estos escenarios, seleccionando siempre el mayor valor obtenido.

Análisis de regresión

Con el fin de parametrizar las curvas IDF y mejorar la posibilidad de automatizar el cálculo de caudales máximos, se realizó un análisis de regresión de cada para cada estación y para cada periodo de retorno.

En la literatura existen diversas fórmulas para realizar el ajuste de las curvas a los datos observados. Y es normal que ciertas estaciones en diferentes periodos de tiempo exhiban un cambio de comportamiento. Así, se encontró que, para las estaciones con influencia en el Distrito de Medellín, presentan estaciones con ajustes y formulaciones diferentes. Algunas de las cuales no se correlacionaron con el período de retorno, por lo que solo cuentan con parámetros de calibración hasta 100 años. Se encontraron tres tipos de ecuaciones de cuatro comúnmente utilizados en climatología:

$$I_D = \frac{(K + T_R)^m}{(C + D)^n}$$

Ecuación Tipo I

$$I_D = \frac{(K + T_R)^m}{(C + D)^n}$$

Ecuación Tipo II

$$I_D = \frac{K}{(C + D)^n}$$

Ecuación Tipo III

$$I_D = \frac{K}{(C + D/60)^n}$$

Ecuación Tipo IV

donde,

I_D es la intensidad de la lluvia, en mm

K es la constante en el numerador

m es el exponente del numerador

C es la constante en el denominador

n es el exponente del denominador

T_R es el período de retorno en años

D es la duración en minutos

Para algunos escenarios las variables de ajuste del

Las ecuaciones se generalizaron para ajustarlas a las ecuaciones tipo I, III y IV. En la Tabla 19 se presentan los parámetros obtenidos.

Tabla 19. Parametrización de curvas IDF para diferentes periodos de retorno

Código	Nombre	Escenario	T_R	Tipo ecuación	K	C	N	M
1	Gerona	2	2	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	5	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	10	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	25	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	50	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	100	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	200	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	2	500	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	2	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	5	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	10	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	25	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	50	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	100	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	3	200	1	546,77	0,25	0,76	0,20

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
1	Gerona	3	500	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	2	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	5	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	10	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	25	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	50	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	100	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	200	1	546,77	0,25	0,76	0,20
1	Gerona	5	500	1	546,77	0,25	0,76	0,20
2308024	Vasconia	1	2	3	3565,70	17,00	1,02	
2308024	Vasconia	1	5	3	3415,40	12,00	0,98	
2308024	Vasconia	1	10	3	3587,90	10,00	0,97	
2308024	Vasconia	1	25	3	4166,70	9,00	0,97	
2308024	Vasconia	1	50	3	4339,80	8,00	0,96	
2308024	Vasconia	1	100	3	4984,90	8,00	0,97	
2308024	Vasconia	1	200	3	5365,55	7,55	0,96	
2308024	Vasconia	1	500	3	5973,83	7,24	0,97	
2308024	Vasconia	2	2	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	5	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	10	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	25	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	50	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	100	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	200	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	2	500	1	596,37	0,25	0,72	0,20
2308024	Vasconia	3	2	4	57,51	0,40	0,91	
2308024	Vasconia	3	5	4	68,93	0,40	0,90	
2308024	Vasconia	3	10	4	78,22	0,40	0,89	
2308024	Vasconia	3	25	4	89,95	0,40	0,88	
2308024	Vasconia	3	50	4	98,65	0,40	0,87	
2308024	Vasconia	3	100	4	107,28	0,40	0,87	
2308024	Vasconia	3	200	4	116,35	0,40	0,87	
2308024	Vasconia	3	500	4	128,08	0,40	0,86	
2308024	Vasconia	5	2	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	5	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	10	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	25	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	50	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	100	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2308024	Vasconia	5	200	1	3148,97	14,09	1,00	0,17

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2308024	Vasconia	5	500	1	3148,97	14,09	1,00	0,17
2701034	Mazo	1	2	3	37203,00	60,00	1,44	
2701034	Mazo	1	5	3	11732,00	34,00	1,22	
2701034	Mazo	1	10	3	8937,90	26,00	1,15	
2701034	Mazo	1	25	3	8191,80	21,00	1,12	
2701034	Mazo	1	50	3	8366,30	19,00	1,11	
2701034	Mazo	1	100	3	9065,60	18,00	1,11	
2701034	Mazo	1	200	3	9850,29	17,19	1,11	
2701034	Mazo	1	500	3	10904,89	16,41	1,11	
2701034	Mazo	2	2	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	5	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	10	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	25	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	50	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	100	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	200	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	2	500	1	657,74	0,25	0,74	0,14
2701034	Mazo	3	2	4	50,37	0,40	0,93	
2701034	Mazo	3	5	4	58,77	0,40	0,92	
2701034	Mazo	3	10	4	65,60	0,40	0,91	
2701034	Mazo	3	25	4	74,23	0,40	0,91	
2701034	Mazo	3	50	4	80,63	0,40	0,90	
2701034	Mazo	3	100	4	86,98	0,40	0,90	
2701034	Mazo	3	200	4	93,65	0,40	0,89	
2701034	Mazo	3	500	4	102,29	0,40	0,89	
2701034	Mazo	5	2	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	5	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	10	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	25	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	50	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	100	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	200	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701034	Mazo	5	500	1	3890,95	20,54	1,09	0,24
2701035	Chorrillos	1	2	3	6256,70	35,00	1,15	
2701035	Chorrillos	1	5	3	3527,60	21,00	1,02	
2701035	Chorrillos	1	10	3	2779,10	15,00	0,95	
2701035	Chorrillos	1	25	3	3063,30	13,00	0,94	
2701035	Chorrillos	1	50	3	3297,30	12,00	0,94	
2701035	Chorrillos	1	100	3	3448,00	11,00	0,94	
2701035	Chorrillos	1	200	3	3709,40	10,39	0,93	

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701035	Chorrillos	1	500	3	4063,79	9,81	0,93	
2701035	Chorrillos	2	2	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	5	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	10	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	25	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	50	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	100	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	200	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	2	500	1	674,66	0,25	0,77	0,18
2701035	Chorrillos	3	2	4	51,45	0,40	0,95	
2701035	Chorrillos	3	5	4	59,81	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	10	4	66,62	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	25	4	75,23	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	50	4	81,62	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	100	4	87,96	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	200	4	94,58	0,40	0,96	
2701035	Chorrillos	3	500	4	103,17	0,40	0,97	
2701035	Chorrillos	4	2	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	5	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	10	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	25	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	50	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	100	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	200	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	4	500	1	628,39	0,25	0,79	0,23
2701035	Chorrillos	5	2	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	5	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	10	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	25	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	50	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	100	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	200	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701035	Chorrillos	5	500	1	1236,58	3,24	0,89	0,22
2701037	Fabricato	1	2	3	1751,80	21,00	0,89	
2701037	Fabricato	1	5	3	1804,00	15,00	0,86	
2701037	Fabricato	1	10	3	2023,30	13,00	0,85	
2701037	Fabricato	1	25	3	2224,50	11,00	0,84	
2701037	Fabricato	1	50	3	2388,40	10,00	0,83	
2701037	Fabricato	1	100	3	2757,40	10,00	0,84	
2701037	Fabricato	1	200	3	2978,44	9,46	0,84	

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701037	Fabricato	1	500	3	3328,65	9,09	0,84	
2701037	Fabricato	2	2	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	5	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	10	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	25	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	50	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	100	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	200	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	2	500	1	641,97	0,25	0,74	0,20
2701037	Fabricato	3	2	4	53,58	0,40	0,92	
2701037	Fabricato	3	5	4	65,53	0,40	0,91	
2701037	Fabricato	3	10	4	75,23	0,40	0,91	
2701037	Fabricato	3	25	4	87,49	0,40	0,91	
2701037	Fabricato	3	50	4	96,57	0,40	0,91	
2701037	Fabricato	3	100	4	105,57	0,40	0,90	
2701037	Fabricato	3	200	4	115,02	0,40	0,90	
2701037	Fabricato	3	500	4	127,24	0,40	0,90	
2701037	Fabricato	5	2	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	5	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	10	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	25	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	50	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	100	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	200	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701037	Fabricato	5	500	1	4010,43	20,94	1,07	0,23
2701038	San Antonio	1	2	3	6885,00	29,00	1,14	
2701038	San Antonio	1	5	3	2978,70	14,00	0,95	
2701038	San Antonio	1	10	3	2614,10	10,00	0,91	
2701038	San Antonio	1	25	3	2445,70	7,00	0,87	
2701038	San Antonio	1	50	3	2549,90	6,00	0,86	
2701038	San Antonio	1	100	3	2585,60	5,00	0,85	
2701038	San Antonio	1	200	3	2824,35	4,66	0,85	
2701038	San Antonio	1	500	3	3069,20	4,18	0,85	
2701038	San Antonio	2	2	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	5	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	10	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	25	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	50	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	100	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	2	200	1	669,64	0,25	0,74	0,19

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701038	San Antonio	2	500	1	669,64	0,25	0,74	0,19
2701038	San Antonio	3	2	4	54,09	0,40	0,90	
2701038	San Antonio	3	5	4	63,32	0,40	0,89	
2701038	San Antonio	3	10	4	70,83	0,40	0,89	
2701038	San Antonio	3	25	4	80,32	0,40	0,89	
2701038	San Antonio	3	50	4	87,35	0,40	0,88	
2701038	San Antonio	3	100	4	94,32	0,40	0,88	
2701038	San Antonio	3	200	4	101,63	0,40	0,88	
2701038	San Antonio	3	500	4	111,10	0,40	0,88	
2701038	San Antonio	4	2	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	5	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	10	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	25	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	50	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	100	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	200	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	4	500	1	644,40	0,25	0,70	0,15
2701038	San Antonio	5	2	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	5	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	10	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	25	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	50	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	100	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	200	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701038	San Antonio	5	500	1	1367,53	0,51	0,82	0,15
2701045	Villahermosa	1	2	3	4722,30	24,00	1,11	
2701045	Villahermosa	1	5	3	3898,90	19,00	1,04	
2701045	Villahermosa	1	10	3	3483,10	16,00	0,99	
2701045	Villahermosa	1	25	3	3433,20	14,00	0,97	
2701045	Villahermosa	1	50	3	3487,60	13,00	0,95	
2701045	Villahermosa	1	100	3	3491,60	12,00	0,94	
2701045	Villahermosa	1	200	3	3646,27	11,46	0,93	
2701045	Villahermosa	1	500	3	3818,91	10,81	0,92	
2701045	Villahermosa	2	2	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	5	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	10	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	25	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	50	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	100	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	2	200	1	588,93	0,25	0,76	0,17

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701045	Villahermosa	2	500	1	588,93	0,25	0,76	0,17
2701045	Villahermosa	3	2	4	44,71	0,40	0,94	
2701045	Villahermosa	3	5	4	51,39	0,40	0,95	
2701045	Villahermosa	3	10	4	56,83	0,40	0,95	
2701045	Villahermosa	3	25	4	63,68	0,40	0,95	
2701045	Villahermosa	3	50	4	68,77	0,40	0,95	
2701045	Villahermosa	3	100	4	73,80	0,40	0,96	
2701045	Villahermosa	3	200	4	79,09	0,40	0,96	
2701045	Villahermosa	3	500	4	85,94	0,40	0,96	
2701045	Villahermosa	5	2	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	5	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	10	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	25	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	50	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	100	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	200	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701045	Villahermosa	5	500	1	4449,47	24,92	1,12	0,24
2701046	San Cristóbal	1	2	3	2593,60	25,00	0,96	
2701046	San Cristóbal	1	5	3	1307,80	10,00	0,80	
2701046	San Cristóbal	1	10	3	1180,00	6,00	0,75	
2701046	San Cristóbal	1	25	3	1249,00	4,00	0,73	
2701046	San Cristóbal	1	50	3	1308,10	3,00	0,72	
2701046	San Cristóbal	1	100	3	1326,90	2,00	0,71	
2701046	San Cristóbal	1	200	3	1492,05	1,90	0,72	
2701046	San Cristóbal	1	500	3	1646,58	1,54	0,72	
2701046	San Cristóbal	2	2	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	5	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	10	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	25	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	50	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	100	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	200	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	2	500	1	683,51	0,25	0,76	0,17
2701046	San Cristóbal	3	2	4	53,81	0,40	0,93	
2701046	San Cristóbal	3	5	4	62,61	0,40	0,94	
2701046	San Cristóbal	3	10	4	69,77	0,40	0,95	
2701046	San Cristóbal	3	25	4	78,80	0,40	0,96	
2701046	San Cristóbal	3	50	4	85,49	0,40	0,96	
2701046	San Cristóbal	3	100	4	92,13	0,40	0,96	
2701046	San Cristóbal	3	200	4	99,12	0,40	0,97	

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701046	San Cristóbal	3	500	4	108,15	0,40	0,97	
2701046	San Cristóbal	5	2	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	5	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	10	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	25	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	50	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	100	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	200	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701046	San Cristóbal	5	500	1	1246,13	2,03	0,85	0,16
2701047	Medellín	2	2	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	5	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	10	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	25	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	50	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	100	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	200	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	2	500	1	624,46	0,25	0,79	0,17
2701047	Medellín	3	2	4	46,49	0,40	0,96	
2701047	Medellín	3	5	4	55,16	0,40	0,98	
2701047	Medellín	3	10	4	62,22	0,40	0,98	
2701047	Medellín	3	25	4	71,13	0,40	0,99	
2701047	Medellín	3	50	4	77,73	0,40	1,00	
2701047	Medellín	3	100	4	84,28	0,40	1,00	
2701047	Medellín	3	200	4	91,17	0,40	1,00	
2701047	Medellín	3	500	4	100,07	0,40	1,01	
2701047	Medellín	5	2	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	5	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	10	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	25	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	50	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	100	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	200	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701047	Medellín	5	500	1	2048,13	18,79	1,06	0,22
2701093	Ayurá	1	2	3	4238,20	23,00	1,08	
2701093	Ayurá	1	5	3	6992,00	22,00	1,14	
2701093	Ayurá	1	10	3	9852,60	22,00	1,18	
2701093	Ayurá	1	25	3	13745,00	22,00	1,22	
2701093	Ayurá	1	50	3	16776,00	22,00	1,24	
2701093	Ayurá	1	100	3	19876,00	22,00	1,25	
2701093	Ayurá	1	200	3	18892,72	20,58	1,22	

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701093	Ayurá	1	500	3	28192,79	22,20	1,28	
2701093	Ayurá	2	2	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	5	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	10	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	25	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	50	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	100	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	200	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	2	500	1	638,48	0,25	0,78	0,18
2701093	Ayurá	3	2	4	45,29	0,40	0,94	
2701093	Ayurá	3	5	4	54,84	0,40	0,96	
2701093	Ayurá	3	10	4	62,63	0,40	0,98	
2701093	Ayurá	3	25	4	72,47	0,40	0,99	
2701093	Ayurá	3	50	4	79,78	0,40	1,00	
2701093	Ayurá	3	100	4	87,03	0,40	1,01	
2701093	Ayurá	3	200	4	94,68	0,40	1,01	
2701093	Ayurá	3	500	4	104,57	0,40	1,02	
2701093	Ayurá	4	2	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	5	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	10	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	25	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	50	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	100	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	200	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	4	500	1	534,03	0,25	0,77	0,23
2701093	Ayurá	5	2	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	5	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	10	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	25	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	50	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	100	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	200	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701093	Ayurá	5	500	1	1167,79	7,27	0,89	0,23
2701115	Astilleros	2	2	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	5	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	10	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	25	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	50	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	100	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	2	200	1	623,86	0,25	0,73	0,18

Código	Nombre	Escenario	T _R	Tipo ecuación	K	C	N	M
2701115	Astilleros	2	500	1	623,86	0,25	0,73	0,18
2701115	Astilleros	3	2	4	53,81	0,40	0,93	
2701115	Astilleros	3	5	4	62,61	0,40	0,94	
2701115	Astilleros	3	10	4	69,77	0,40	0,95	
2701115	Astilleros	3	25	4	78,80	0,40	0,96	
2701115	Astilleros	3	50	4	85,49	0,40	0,96	
2701115	Astilleros	3	100	4	92,13	0,40	0,96	
2701115	Astilleros	3	200	4	99,12	0,40	0,97	
2701115	Astilleros	3	500	4	108,15	0,40	0,97	
2701115	Astilleros	5	2	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	5	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	10	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	25	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	50	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	100	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	200	1	5186,14	16,18	1,08	0,11
2701115	Astilleros	5	500	1	5186,14	16,18	1,08	0,11

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Como se observa en la tabla anterior, para ecuaciones con los mismos parámetros en todos los periodos de tiempo, están asociadas a ecuaciones de Tipo I donde es posible estimar curva de intensidad para cualquier período de retorno. En otros casos, los parámetros varían para cada período de retorno y no cuentan con parámetros para períodos de retorno de 200 o 500 años, utilizados normalmente en estudios de amenaza. De esta manera, para cada una de las estaciones se reconstruyeron las curvas (extrapolaron) mediante el siguiente procedimiento:

- Se seleccionaron varias duraciones de tiempo entre 5 y 1440 minutos (24 horas)
- Para cada duración se realizó regresión logarítmica y potencial, mediante mínimos cuadrados
- Con base en los parámetros de regresión se extrapolaron las curvas de intensidad 200 y 500 años de período de retorno.
- Con base en una función objetivo y un método numérico para minimiza el error, se estimaron los parámetros que mejor se ajustaban (menor error).

Los valores extrapolados se encuentran marcados en color verde en la tabla.

En la Ilustración 34 e Ilustración 35 siguiente se ilustra el ejemplo de ajuste en las estaciones Fabricato y San Cristóbal para una las funciones logarítmica y potencial, encontrando que en todos los casos la logarítmica representa el mejor ajuste. Por lo que fue la relación empleada en el presente estudio.

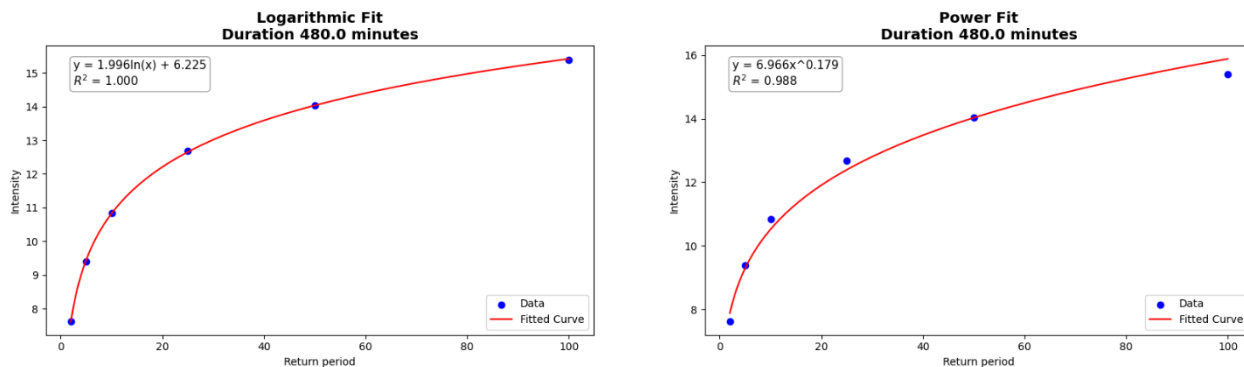


Ilustración 34. Ajuste logarítmico y potencial para un evento de duración de 480 minutos en la estación 2701037 (Fabricato) en el Escenario IDF 3

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

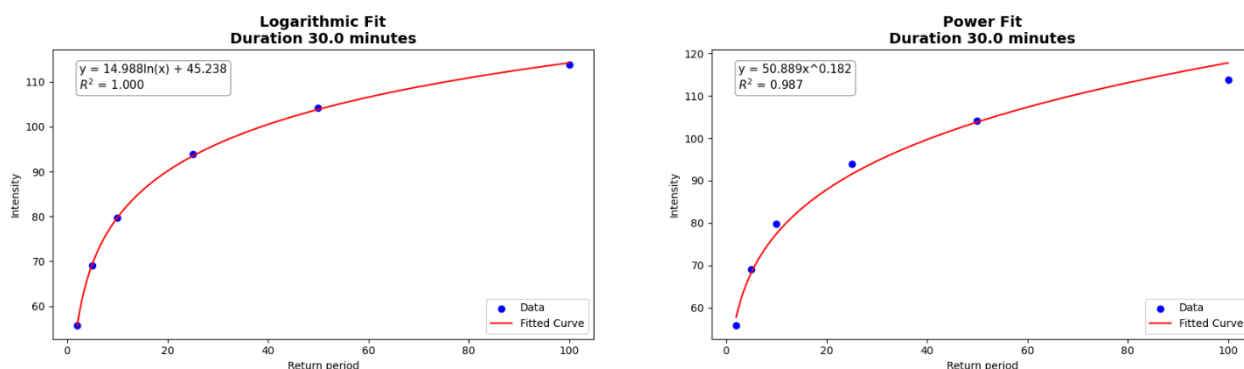


Ilustración 35. Ajuste logarítmico y potencial para un evento de duración de 30 minutos en la estación 2701046 (San Cristóbal) – En el Escenario IDF 1

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

- **Estaciones operadas por IDEAM**

Dado que para las estaciones operadas por el IDEAM no se cuenta con información de curvas IDF, es necesario estimarlas a partir de métodos de regionalización. Tal como se describió en la metodología, con base en los registros anuales de precipitación máxima en 24 horas, es posible, mediante la aplicación de la teoría de escalamiento propuesta por Wilches (2001), estimar las curvas IDF en estas estaciones (Ilustración 36).

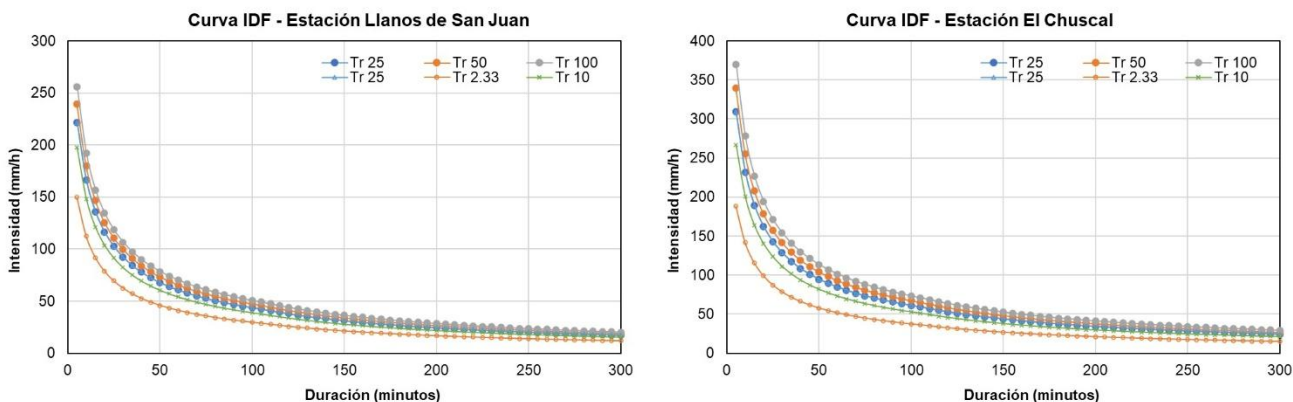


Ilustración 36. Curvas IDF para las estaciones Llanos de San Juan y El Chuscal

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.4 Intensidad y magnitud

Con base en los tiempos de concentración estimados y su respectiva distribución espacial se estimaron los valores de intensidad y profundidad de la lluvia de diseño para las cuencas priorizadas. Los resultados se presentan en la Tabla 20 y Tabla 21, respectivamente.

Con base en los tiempos de concentración obtenidos y las curvas IDF consolidadas, se obtuvo para cada cuenca el valor de la intensidad de lluvia para cada periodo de retorno (Tabla 20)

Tabla 20. Valores de intensidad de lluvia (mm/hora) para diferentes periodos de retorno

ID	Cuenca	TR 2,33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
1	Q. Santa Elena	20,5	24,7	28,4	34,0	38,7	44,1	50,8	61,2
2	Q. La Picacha	26,2	30,3	33,9	39,1	43,1	47,5	52,5	60,7
3	Q. La Iguaá	19,0	21,8	25,1	29,2	32,4	35,6	38,8	44,3
4	Q. Doña María	21,7	24,6	27,0	30,7	34,4	38,4	42,9	49,7
5	Q. La Presidenta	30,8	38,1	44,3	53,0	60,1	67,9	78,7	95,6
6	Q. La Poblada	25,2	30,7	35,5	42,4	48,2	55,2	63,8	77,2
7	Q. Ana Díaz	28,7	33,2	37,1	42,7	47,5	52,8	58,7	68,1
8	Q. La Hondita	104,4	121,7	140,1	174,5	206,1	243,4	287,5	358,2
9	Q. La Hueso	22,5	26,0	29,3	33,9	37,4	40,9	45,1	52,0
10	Q. Potreritos	43,5	49,6	54,8	62,5	69,1	76,4	84,5	97,1
11	Q. La Volcana	65,6	88,2	106,7	129,9	147,2	164,3	184,5	227,8
12	Q. La Seca	42,6	52,2	60,8	74,5	86,8	101,2	118,0	144,6
13	Q. La Lejía	51,8	60,2	67,4	78,4	87,8	98,4	110,2	128,2
14	Q. La Escopeteria	56,9	75,3	90,4	109,6	123,9	138,3	155,1	191,2
15	Q. La Sucia	20,4	22,9	25,2	28,5	32,2	36,5	41,2	48,5
16	Q. La Frisola	34,6	38,9	42,4	47,7	52,1	56,9	62,7	73,4
17	Q. La Aguacatala	37,4	48,2	57,1	68,3	76,6	84,8	98,5	121,6
18	Q. La Puerta - Borbollona	58,0	67,2	75,1	86,9	97,1	108,5	121,3	140,4
19	Q. El Nãto	60,5	75,3	88,9	110,6	130,6	154,1	181,9	226,5
20	Q. La Astillera	46,0	50,9	55,0	60,8	65,6	70,8	76,4	87,5
21	Q. Altavista	22,7	26,5	29,7	34,4	38,5	43,0	48,0	55,8
22	Q. Zúñiga	56,5	75,0	90,2	109,4	123,5	137,6	154,1	190,3
23	Q. El Hato - La Guayaba	79,5	92,0	102,8	119,1	133,0	148,6	166,1	192,3
24	Q. Canaveral - El Zancudo	65,1	81,0	95,5	118,7	140,0	165,1	194,7	242,1
25	Q. La Gómez	65,0	75,6	84,6	97,8	108,8	121,0	135,5	158,4
26	Q. La Guayabala	49,3	57,3	64,1	74,1	82,4	91,5	102,3	118,7

ID	Cuenca	TR 2,33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
27	Q. El Ahorcado	57,9	72,1	85,2	106,1	125,2	147,8	174,5	217,4
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	60,2	75,0	88,5	110,3	130,2	153,7	181,5	226,0
29	Q. La Limona	64,0	73,4	81,5	93,5	103,7	115,1	127,7	146,5
30	Q. Piedra Gorda	36,0	43,8	51,1	62,6	73,2	85,5	99,9	122,8
31	Q. Piedras Blancas	19,7	23,3	26,5	32,6	38,2	44,9	52,8	65,4
32	Q. Miserenga	44,3	50,4	55,7	63,8	70,7	78,5	87,3	102,8
33	Q. Malpaso	39,7	46,6	52,3	60,1	66,2	72,5	79,4	95,0
34	Q. La Puerta	61,8	71,6	80,0	92,6	103,4	115,6	129,1	149,5
35	Q. La Pelahueso	58,0	67,2	75,1	86,9	97,1	108,5	121,3	140,4
36	Q. La Madera	48,2	57,4	65,5	77,6	88,2	100,1	113,9	137,1
37	Q. La Castro	42,3	52,6	62,1	77,3	91,2	107,6	127,0	158,1
38	Q. La Cantera Ramal Sur	68,9	80,4	90,4	105,4	118,5	133,1	149,6	174,6
39	Q. La Quintana	50,7	59,7	67,1	77,0	84,7	92,8	103,7	124,8
40	Q. La Chorrera - El Molino	40,8	50,8	59,9	74,6	88,0	103,8	122,5	152,6
41	Q. La Paulita	56,5	75,0	90,2	109,4	123,5	137,6	154,1	190,3
42	Q. La Moñonga	40,0	46,9	52,7	60,5	66,7	73,2	80,2	95,7
43	Q. La Bermejala	41,2	50,9	59,7	73,6	86,1	100,6	117,8	146,5
44	Q. La Leonarda	63,2	73,2	81,7	94,7	105,8	118,2	132,0	152,9
45	Q. La Guayaba	180,9	209,5	234,1	271,0	302,8	338,4	378,0	437,7
46	Q. La Larga	49,1	56,3	62,4	71,4	79,2	87,8	97,3	111,6
47	Q. Agua Fría	73,1	84,7	94,6	109,5	122,4	136,7	152,8	176,9
48	Q. La Despensa	92,0	105,6	117,1	134,4	149,1	165,5	183,6	210,6
49	Q. La Honda	47,1	58,7	69,3	86,4	102,0	120,5	142,3	177,3
50	Q. Minitas	103,7	114,7	123,7	136,9	147,7	159,4	172,0	190,3
51	Q. La Cañada	220,5	253,0	280,7	322,0	357,3	396,5	439,9	504,7
52	Q. La Arenera	97,8	109,7	119,8	134,6	147,1	160,7	175,7	197,7
53	Q. La García	84,5	97,8	109,3	126,5	141,4	157,9	176,5	204,3
54	Q. La Zorrита	191,1	219,3	243,3	279,2	309,8	343,7	381,4	437,6
55	Q. La Potrera	93,3	108,1	120,8	139,8	156,2	174,6	195,0	225,8
56	Q. La Mauala	113,9	130,7	145,0	166,4	184,7	204,9	227,3	260,8
57	Q. La Manguala	59,0	67,6	75,0	86,1	95,5	106,0	117,6	135,0
58	Q. La Rafita	80,1	99,8	117,8	146,8	173,4	204,7	241,8	301,3
59	Q. La Candela	94,6	108,5	120,4	138,1	153,3	170,0	188,7	216,5
60	Q. El Rosario	26,9	32,6	38,4	47,7	56,2	66,1	77,9	96,8

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 21. Valores de profundidad de lluvia (mm) para diferentes periodos de retorno

ID	Cuenca	TR 2,33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
1	Q. Santa Elena	45,5	54,7	63,0	75,4	85,8	97,8	112,6	135,7
2	Q. La Picacha	44,5	51,5	57,6	66,5	73,2	80,8	89,3	103,2
3	Q. La Iguaná	50,4	57,8	66,4	77,4	85,8	94,5	102,8	117,3
4	Q. Doña María	60,4	68,4	75,1	85,6	95,6	106,9	119,4	138,4
5	Q. La Presidenta	31,3	38,7	45,0	53,9	61,1	69,0	80,0	97,2
6	Q. La Poblada	31,9	38,9	44,9	53,7	61,1	69,9	80,8	97,7
7	Q. Ana Díaz	44,5	51,5	57,5	66,3	73,6	81,8	91,0	105,5
8	Q. La Hondita	19,1	22,3	25,7	32,0	37,8	44,6	52,7	65,7
9	Q. La Hueso	46,1	53,2	60,0	69,6	76,7	83,9	92,4	106,6
10	Q. Potreritos	44,9	51,2	56,6	64,6	71,4	78,9	87,3	100,3
11	Q. La Volcana	26,2	35,3	42,7	52,0	58,9	65,7	73,8	91,1
12	Q. La Seca	34,8	42,6	49,7	60,8	70,9	82,7	96,4	118,1
13	Q. La Lejía	39,7	46,2	51,7	60,1	67,3	75,4	84,5	98,3
14	Q. La Escopetería	28,5	37,6	45,2	54,8	62,0	69,1	77,5	95,6
15	Q. La Sucia	54,7	61,4	67,5	76,4	86,5	97,8	110,4	130,1
16	Q. La Frisola	50,8	57,0	62,2	69,9	76,4	83,5	92,0	107,7
17	Q. La Aguacatala	34,9	45,0	53,3	63,8	71,5	79,1	92,0	113,5
18	Q. La Puerta - Borbollona	38,7	44,8	50,1	58,0	64,8	72,4	80,8	93,6
19	Q. El Ñato	32,3	40,2	47,4	59,0	69,6	82,2	97,0	120,8
20	Q. La Astillera	53,0	58,6	63,2	69,9	75,5	81,4	87,9	100,6
21	Q. Altavista	47,3	55,1	61,9	71,7	80,2	89,5	100,0	116,2
22	Q. Zúñiga	29,2	38,8	46,6	56,5	63,8	71,1	79,6	98,3
23	Q. El Hato - La Guayaba	35,8	41,4	46,3	53,6	59,9	66,9	74,7	86,5
24	Q. Canaveral - El Zancudo	28,2	35,1	41,4	51,5	60,7	71,5	84,4	104,9
25	Q. La Gómez	34,7	40,3	45,1	52,1	58,0	64,5	72,2	84,5
26	Q. La Guayabala	48,5	56,4	63,1	72,8	81,0	90,0	100,6	116,7
27	Q. El Ahorcado	29,9	37,3	44,0	54,8	64,7	76,4	90,2	112,3
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	29,1	36,3	42,8	53,3	62,9	74,3	87,7	109,3
29	Q. La Limona	50,1	57,5	63,8	73,2	81,2	90,1	100,0	114,8
30	Q. Piedra Gorda	42,0	51,1	59,6	73,1	85,3	99,7	116,5	143,3
31	Q. Piedras Blancas	46,3	54,6	62,2	76,6	89,9	105,5	124,0	153,6
32	Q. Miserenga	50,2	57,2	63,2	72,3	80,1	89,0	99,0	116,5
33	Q. Malpaso	35,1	41,2	46,2	53,1	58,4	64,1	70,2	83,9
34	Q. La Puerta	38,1	44,1	49,3	57,1	63,8	71,3	79,6	92,2
35	Q. La Pelahueso	38,7	44,8	50,1	58,0	64,8	72,4	80,8	93,6
36	Q. La Madera	37,7	45,0	51,3	60,8	69,1	78,4	89,2	107,4
37	Q. La Castro	35,9	44,7	52,8	65,7	77,5	91,5	107,9	134,4
38	Q. La Cantera Ramal Sur	25,3	29,5	33,1	38,7	43,4	48,8	54,9	64,0
39	Q. La Quintana	30,4	35,8	40,3	46,2	50,8	55,7	62,2	74,9
40	Q. La Chorrera - El Molino	35,3	44,0	51,9	64,6	76,3	90,0	106,2	132,3
41	Q. La Paulita	29,2	38,8	46,6	56,5	63,8	71,1	79,6	98,3
42	Q. La Moñonga	35,4	41,5	46,5	53,4	58,9	64,6	70,8	84,5
43	Q. La Bermejala	34,3	42,4	49,8	61,3	71,7	83,9	98,2	122,1
44	Q. La Leonarda	37,9	43,9	49,0	56,8	63,5	70,9	79,2	91,7
45	Q. La Guayaba	27,1	31,4	35,1	40,7	45,4	50,8	56,7	65,7
46	Q. La Larga	53,2	61,0	67,6	77,4	85,8	95,1	105,4	120,8
47	Q. Agua Fría	36,6	42,3	47,3	54,8	61,2	68,4	76,4	88,4
48	Q. La Despensa	46,0	52,8	58,6	67,2	74,6	82,7	91,8	105,3
49	Q. La Honda	33,8	42,1	49,7	61,9	73,1	86,4	102,0	127,1
50	Q. Minitas	41,5	45,9	49,5	54,7	59,1	63,8	68,8	76,1
51	Q. La Cañada	36,7	42,2	46,8	53,7	59,6	66,1	73,3	84,1
52	Q. La Arenera	39,1	43,9	47,9	53,9	58,8	64,3	70,3	79,1
53	Q. La García	35,2	40,7	45,5	52,7	58,9	65,8	73,5	85,1
54	Q. La Zorrita	38,2	43,9	48,7	55,8	62,0	68,7	76,3	87,5

ID	Cuenca	TR 2,33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
55	Q. La Potrera	34,2	39,6	44,3	51,3	57,3	64,0	71,5	82,8
56	Q. La Mauala	43,7	50,1	55,6	63,8	70,8	78,5	87,1	100,0
57	Q. La Manguala	51,1	58,6	65,0	74,6	82,8	91,9	101,9	117,0
58	Q. La Rafita	22,7	28,3	33,4	41,6	49,1	58,0	68,5	85,4
59	Q. La Candela	45,7	52,4	58,2	66,8	74,1	82,2	91,2	104,6
60	Q. El Rosario	42,6	51,7	60,8	75,5	88,9	104,7	123,4	153,2

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.5 Pérdidas hidrológicas y precipitación efectiva

Para la determinación de las pérdidas hidrológicas, es decir el agua que se infiltra y no aporta escorrentía durante el evento de creciente, se utilizó la metodología del número de curva del NRCS. Para estimar dicho número, se realizó un cruce entre la información del tipo de suelo, la cual define el grupo hidrológico del suelo, y la cobertura vegetal.

En la Tabla 22 se muestra la relación entre las coberturas clasificadas según la metodología “Corine Land Cover” y la clasificación de coberturas del NRCS y su respectivo número de curva (CN). Mientras que en la Tabla 23 se presenta la clasificación hidrológica asignada a cada tipo de suelo. De esta forma fue posible cruzar la información de cobertura y tipo de suelo y generar un mapa de CN (Ilustración 37).

Con el objetivo de ser conservadores se definió grupo hidrológico tipo D para cualquier cobertura de urbana.

Tabla 22. Relación entre las coberturas clasificadas según la metodología “Corine Land Cover” y la clasificación de coberturas del NRCS

Cobertura “Corine Land Cover”	Cobertura NRCS	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Tejido urbano continuo	Áreas residenciales - lotes 500 m2	N/A	77	85	90	92
Tejido urbano discontinuo	Áreas residenciales - lotes 1.000 m2	N/A	61	75	83	87
Zonas industriales o comerciales	Distritos urbanos - Comercio y negocios	N/A	89	92	94	95
Instalaciones recreativas	Espacios abiertos	Media	49	69	79	84
Caña panelera	Cultivos contorno	Buena	71	80	87	90
Café	Cultivos	Pobre	72	81	88	91
Pastos limpios	Pastos	Pobre	68	79	86	89
Pastos arbolados	Pastos	Media	49	69	79	84
Pastos enmalezados	Pastos	Buena	39	61	74	80
Mosaico de cultivos	Cultivos contorno	Buena	65	75	82	86
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos + Cultivos contorno	Buena	52	68	78	83
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Cultivos + pastos + espacios naturales	Buena	48	66	77	82
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos + espacios naturales	Buena	39	61	74	80
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Cultivos contorno + Espacios naturales	Buena	52	68	78	83
Bosque natural denso	Bosques	Buena	30	55	70	77

Cobertura “Corine Land Cover”	Cobertura NRCS	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Bosque natural fragmentado	Bosques	Media	35	60	73	79
Bosque de galería y/o riparia	Bosques	Buena	30	55	70	77
Bosque de galería y/o riparia	Bosques	Buena	30	55	70	77
Plantación forestal	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Arbustos y matorrales	Rastrojo	Buena	30	48	65	73
Vegetación secundaria o en transición	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Tierras desnudas y degradadas	Calles y carreteras - Destapada	-	72	82	87	89
Ríos	-	-	100	100	100	100
Plátano y banano	Cultivos	Pobre	72	81	88	91
Café	Cultivos	Pobre	72	81	88	91
Cítricos	Cultivos	Pobre	72	81	88	91
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Bosques	Buena	30	55	70	77
Plantación de latifoliadas	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Vegetación secundaria alta	Rastrojo	Buena	30	48	65	73
Vegetación secundaria baja	Rastrojo	Media	35	56	70	77
Rastrojo bajo	Rastrojo	Pobre	48	67	77	83
Bosque natural intervenido	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Cultivo permanente	Cultivo contorno y terrazas	Buena	62	71	78	81
Bosque plantado	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Construcciones	Áreas residenciales - lotes 500 m2	N/A	77	85	90	92
Rastrojo alto	Rastrojo	Buena	30	48	65	73
Construcciones	Áreas residenciales - lotes 500 m2	N/A	77	85	90	92
Rastrojo bajo	Rastrojo	Pobre	48	67	77	83
Pasto natural	Pastos	Buena	39	61	74	80
Bosque natural intervenido	Bosques	Pobre	45	66	77	83
Cultivo permanente	Cultivo contorno y terrazas	Buena	62	71	78	81
Pasto natural	Pastos	Buena	39	61	74	80

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 23. Clasificación hidrológica del suelo

Unidad Suelo	Descripción	Grupo Hidrológico
AGf2	Profundos y superficiales limitados por roca, bien drenados, texturas finas y medias algunos tienen alta saturación de aluminio reacción muy fuerte a moderadamente Ácida, fertilidad baja a moderada erosión ligera a moderada	C
CA	Cuerpo de agua	D
GSb	Superficiales y profundos, drenaje pobre a moderado, texturas moderadamente finas a gruesas, inundaciones ocasionales, fertilidad baja y alta	D
GSc	Superficiales y profundos, drenaje pobre a moderado, texturas moderadamente finas a gruesas, inundaciones ocasionales, fertilidad baja y alta	D

Unidad Suelo	Descripción	Grupo Hidrológico
HBf	Profundos y superficiales limitados por piedra y gravilla, bien drenados, texturas al tacto moderadamente fina y medias con fragmentos de roca, reacción muy fuerte y fuertemente Ácida, fertilidad baja	C
HBf1	Profundos y superficiales limitados por piedra y gravilla, bien drenados, texturas al tacto moderadamente fina y medias con fragmentos de roca, reacción muy fuerte y fuertemente Ácida, fertilidad baja	C
ITe2	Profundos, bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción ligera a fuertemente Ácida	C
ITf2	Profundos, bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción ligera a fuertemente Ácida	C
LLd	Superficiales y muy superficiales, bien y pobremente drenados, texturas medias y material orgánico, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, alto contenido de aluminio, fertilidad baja	D
NQe2	Profundos, bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera a severa, fertilidad muy baja a moderada	C
NQf3	Profundos, bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera a severa, fertilidad muy baja a moderada	C
PSf2	Profundos, bien drenados, alta saturación de aluminio; texturas moderadamente gruesas a finas, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida y fertilidad moderada a baja erosión ligera a moderada	C
SAd1	Profundos a moderadamente profundos, drenaje natural bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera a moderada, reacción fuerte a moderadamente Ácida, fertilidad baja a muy baja	C
SAe1	Profundos a moderadamente profundos, drenaje natural bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera a moderada, reacción fuerte a moderadamente Ácida, fertilidad baja a muy baja	C
SAe2	Profundos a moderadamente profundos, drenaje natural bien drenados, texturas finas a medias, erosión ligera a moderada, reacción fuerte a moderadamente Ácida, fertilidad baja a muy baja	C
TEb	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEb1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEc1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEd1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEd2	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEe1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEe2	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEf1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TEf2	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida, fertilidad baja a moderada, erosión ligera a moderada	B
TGd1	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y finas, reacción moderadamente Ácida a neutra, fertilidad alta a moderada erosión ligera a moderada	B
YAd1	Profundos, bien drenados, texturas medias y finas, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida	C
YAe1	Profundos, bien drenados, texturas medias y finas, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida	C
YAe2	Profundos, bien drenados, texturas medias y finas, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida	C

Unidad Suelo	Descripción	Grupo Hidrológico
YAf1	Profundos, bien drenados, texturas medias y finas, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida	C
YAf2	Profundos, bien drenados, texturas medias y finas, erosión ligera y moderada, fertilidad baja, reacción muy fuerte a fuertemente Ácida	C
ZLe1	Profundos, drenaje natural moderado a bueno, texturas variadas, fertilidad muy baja, fertilidad muy baja erosión ligera a severa	C
ZLf1	Profundos, drenaje natural moderado a bueno, texturas variadas, fertilidad muy baja, fertilidad muy baja erosión ligera a severa	C
ZU	Zona urbana	D

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

En la Tabla 24 se presenta el número de curva estimado para cada una de las cuencas priorizadas, así como los respectivos parámetros de abstracción inicial (I_a) y almacenamiento (S) definidos en la metodología para la estimación de pérdidas hidrológicas propuesta por el NRCS. Para la condición de diseño se definió una condición de humedad antecedente AMCII y un coeficiente α de 0,05 para el cálculo de la abstracción inicial.

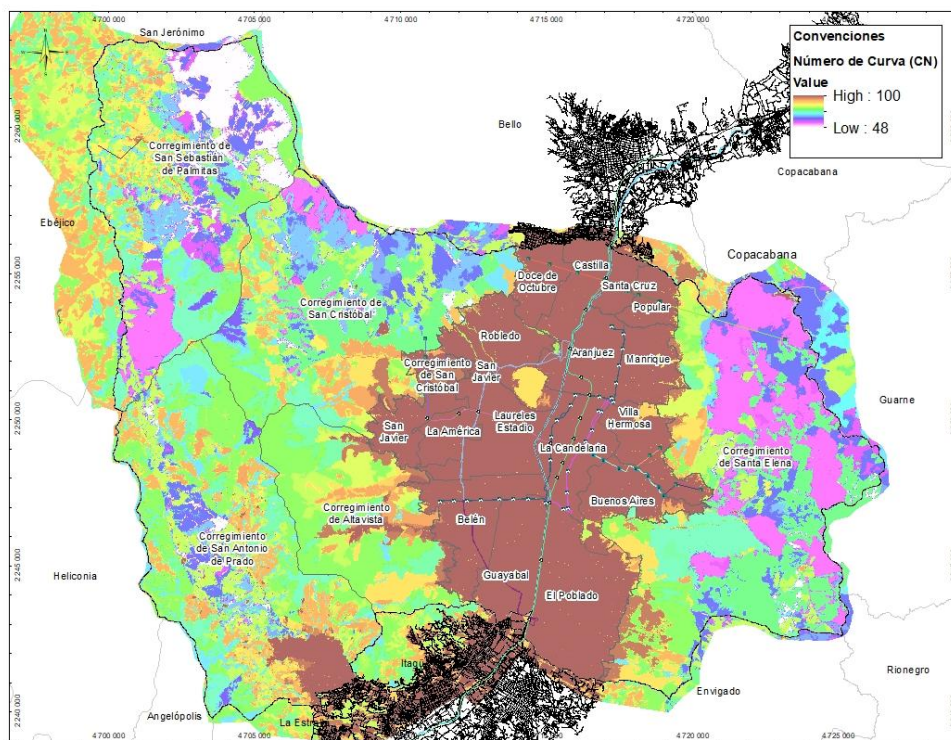


Ilustración 37. Mapa de número de curva

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 24. Número de curva, pérdidas hidrológicas y precipitación efectiva en las cuencas priorizadas

ID	Cuenca	CN	Almacenamiento (S) (mm)	α	Abstracción Inicial - I_a (mm)
1	Q. Santa Elena	73	92,5	0,05	4,6
2	Q. La Picacha	85	45,2	0,05	2,3
3	Q. La Iguaná	76	82,0	0,05	4,1
4	Q. Doña María	77	75,0	0,05	3,8
5	Q. La Presidenta	83	52,0	0,05	2,6
6	Q. La Poblada	84	49,5	0,05	2,5
7	Q. Ana Díaz	81	58,4	0,05	2,9
8	Q. La Hondita	82	56,5	0,05	2,8
9	Q. La Hueso	86	41,7	0,05	2,1
10	Q. Potreritos	75	84,2	0,05	4,2
11	Q. La Volcana	84	48,0	0,05	2,4
12	Q. La Seca	85	45,5	0,05	2,3
13	Q. La Lejía	68	121,7	0,05	6,1
14	Q. La Escopeteria	87	37,6	0,05	1,9
15	Q. La Sucia	72	97,8	0,05	4,9
16	Q. La Frisola	71	102,7	0,05	5,1
17	Q. La Aguacatala	84	48,7	0,05	2,4
18	Q. La Puerta - Borbollona	73	96,3	0,05	4,8
19	Q. El Ñato	70	108,9	0,05	5,4
20	Q. La Astillera	76	81,5	0,05	4,1
21	Q. Altavista	85	44,1	0,05	2,2
22	Q. Zúñiga	86	40,3	0,05	2,0
23	Q. El Hato - La Guayaba	71	102,2	0,05	5,1
24	Q. Canaveral - El Zancudo	87	38,6	0,05	1,9
25	Q. La Gómez	80	63,5	0,05	3,2
26	Q. La Guayabala	81	60,0	0,05	3,0
27	Q. El Ahorcado	88	35,0	0,05	1,7
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	87	39,6	0,05	2,0
29	Q. La Limona	81	58,0	0,05	2,9
30	Q. Piedra Gorda	64	144,1	0,05	7,2
31	Q. Piedras Blancas	66	133,2	0,05	6,7
32	Q. Miserenga	68	122,3	0,05	6,1
33	Q. Malpaso	86	42,0	0,05	2,1
34	Q. La Puerta	71	103,2	0,05	5,2
35	Q. La Pelahueso	88	36,0	0,05	1,8
36	Q. La Madera	79	66,7	0,05	3,3
37	Q. La Castro	73	94,4	0,05	4,7
38	Q. La Cantera Ramal Sur	82	57,3	0,05	2,9
39	Q. La Quintana	86	41,0	0,05	2,1
40	Q. La Chorrera - El Molino	86	41,3	0,05	2,1
41	Q. La Paulita	90	27,0	0,05	1,3
42	Q. La Moñonga	86	42,7	0,05	2,1
43	Q. La Bermejala	90	28,2	0,05	1,4
44	Q. La Leonarda	83	50,6	0,05	2,5
45	Q. La Guayaba	77	74,2	0,05	3,7
46	Q. La Larga	75	86,9	0,05	4,3
47	Q. Agua Fría	69	114,7	0,05	5,7
48	Q. La Despensa	75	86,9	0,05	4,3

ID	Cuenca	CN	Almacenamiento (S) (mm)	α	Abstracción Inicial - I_a (mm)
49	Q. La Honda	84	47,7	0,05	2,4
50	Q. Minitas	74	87,4	0,05	4,4
51	Q. La Cañada	92	22,1	0,05	1,1
52	Q. La Arenera	76	80,7	0,05	4,0
53	Q. La García	75	83,8	0,05	4,2
54	Q. La Zorrita	75	85,6	0,05	4,3
55	Q. La Potrera	81	60,7	0,05	3,0
56	Q. La Mauala	87	38,0	0,05	1,9
57	Q. La Manguala	80	63,9	0,05	3,2
58	Q. La Rafita	84	47,7	0,05	2,4
59	Q. La Candela	74	88,8	0,05	4,4
60	Q. El Rosario	67	127,4	0,05	6,4

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Con base en los valores de almacenamiento y abstracción inicial, utilizando la metodología de pérdidas hidrológicas del NRCS, se estimaron los valores de precipitación efectiva en las cuencas priorizadas (Tabla 25).

Tabla 25. Valores de precipitación efectiva (mm) para diferentes periodos de retorno

ID	Cuenca	TR 2	TR 5	TR10	TR 25	TR50	TR100	TR 200	TR500
1	Q. Santa Elena	10,7	15,2	19,3	25,2	30,1	35,4	41,2	49,6
2	Q. La Picacha	16,1	21,5	26,4	33,4	39,0	45,0	51,5	60,8
3	Q. La Iguañá	13,7	20,0	25,7	33,3	39,4	46,0	52,6	61,8
4	Q. Doña María	16,1	22,1	27,4	35,1	41,5	48,5	56,0	67,2
5	Q. La Presidenta	10,0	14,5	18,7	25,0	30,5	36,6	43,8	54,3
6	Q. La Poblada	10,7	15,1	19,2	25,6	31,3	37,8	45,5	57,1
7	Q. Ana Díaz	14,1	19,4	24,2	30,9	36,3	41,9	48,1	56,5
8	Q. La Hondita	2,6	4,1	5,5	7,4	8,9	10,6	12,3	14,8
9	Q. La Hueso	18,5	25,0	30,8	38,7	44,9	51,6	58,6	68,5
10	Q. Potreritos	8,9	12,5	15,9	20,9	25,2	29,7	35,0	42,5
11	Q. La Volcana	7,6	12,9	17,7	24,4	29,6	35,0	40,5	48,5
12	Q. La Seca	11,3	15,6	19,2	24,4	28,5	32,6	37,0	42,9
13	Q. La Lejía	4,8	7,3	9,7	13,2	16,1	19,0	22,5	27,2
14	Q. La Escopeteria	10,6	16,9	22,6	30,2	36,1	42,2	48,5	57,5
15	Q. La Sucia	12,4	17,3	21,9	29,0	35,4	42,7	51,1	64,2
16	Q. La Frisola	8,8	12,3	15,7	21,0	25,7	31,1	37,4	47,1
17	Q. La Aguacatala	12,7	19,5	25,6	33,8	40,1	46,5	53,4	62,4
18	Q. La Puerta - Borbollona	5,6	8,4	11,0	14,9	17,9	21,0	24,8	29,7
19	Q. El Ñato	4,2	6,9	9,5	13,1	16,0	19,2	22,7	27,6
20	Q. La Astillera	9,5	12,9	16,1	21,5	26,5	32,5	39,7	51,1
21	Q. Altavista	17,2	22,8	27,9	35,2	41,3	48,0	55,4	66,2
22	Q. Zúñiga	10,5	17,0	22,8	30,6	36,6	42,7	48,9	57,9
23	Q. El Hato - La Guayaba	3,5	5,7	7,8	10,9	13,3	15,8	18,9	22,9

ID	Cuenca	TR 2	TR 5	TR10	TR 25	TR50	TR100	TR 200	TR500
24	Q. Canaveral - El Zancudo	9,2	12,8	15,8	19,9	23,0	26,2	29,7	34,3
25	Q. La Gómez	6,6	9,6	12,4	16,5	19,9	23,3	27,4	33,0
26	Q. La Guayabala	13,8	18,5	23,0	28,9	33,7	38,6	44,1	51,3
27	Q. El Ahorcado	11,4	15,4	18,7	23,2	26,6	30,1	33,8	38,8
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	9,9	13,6	16,7	20,9	24,1	27,4	31,0	35,7
29	Q. La Limona	13,6	18,1	22,2	27,7	32,2	36,5	41,5	47,9
30	Q. Piedra Gorda	6,1	9,1	11,9	15,9	19,1	22,6	26,4	31,5
31	Q. Piedras Blancas	7,5	10,8	13,8	18,0	21,3	24,7	28,5	33,5
32	Q. Miserenga	6,3	9,3	12,1	16,6	20,8	25,6	31,3	40,3
33	Q. Malpaso	10,8	14,4	17,7	22,7	27,0	31,7	37,1	45,2
34	Q. La Puerta	4,8	7,4	9,8	13,3	16,2	19,0	22,5	27,1
35	Q. La Pelahueso	13,1	18,0	22,3	28,3	32,9	37,3	42,5	49,2
36	Q. La Madera	8,1	11,8	15,2	20,1	24,0	28,3	33,1	39,7
37	Q. La Castro	7,1	10,3	13,2	17,3	20,6	24,1	28,0	33,2
38	Q. La Cantera Ramal Sur	5,0	7,1	9,0	12,1	14,8	18,0	21,7	27,4
39	Q. La Quintana	8,8	11,9	14,7	19,0	22,7	26,9	31,8	39,2
40	Q. La Chorrera - El Molino	13,6	18,2	22,1	27,3	31,3	35,4	39,9	45,7
41	Q. La Paulita	13,7	21,1	27,7	36,2	42,7	49,3	55,9	65,4
42	Q. La Moñonga	10,8	14,4	17,8	22,8	27,1	31,8	37,2	45,2
43	Q. La Bermejala	15,9	20,7	24,7	30,1	34,4	38,8	43,5	50,0
44	Q. La Leonarda	9,4	13,5	17,2	22,3	26,3	30,1	34,8	40,8
45	Q. La Guayaba	1,0	2,3	3,8	5,9	7,7	9,6	11,7	14,7
46	Q. La Larga	11,3	15,2	18,9	24,0	28,1	32,4	37,1	43,5
47	Q. Agua Fría	3,4	5,5	7,5	10,5	12,9	15,3	18,3	22,3
48	Q. La Despensa	7,0	10,1	13,1	17,1	20,3	23,6	27,4	32,4
49	Q. La Honda	11,3	15,4	19,0	23,7	27,5	31,2	35,3	40,7
50	Q. Minitas	4,9	6,8	8,7	12,0	15,0	18,8	23,3	30,7
51	Q. La Cañada	6,8	11,0	14,7	19,6	23,3	27,1	31,1	36,4
52	Q. La Arenera	4,8	7,1	9,3	12,7	15,7	19,2	23,4	29,8
53	Q. La García	4,0	6,6	8,9	12,3	15,0	17,7	21,0	25,3
54	Q. La Zorrita	2,3	4,3	6,3	9,1	11,3	13,7	16,4	20,1
55	Q. La Potrera	5,0	8,0	10,8	14,6	17,7	20,6	24,3	29,0
56	Q. La Mauala	11,2	15,9	20,0	25,3	29,5	33,6	38,3	44,3
57	Q. La Manguala	13,4	17,7	21,8	27,2	31,6	36,0	40,9	47,4
58	Q. La Rafita	5,7	8,2	10,4	13,5	15,8	18,3	21,0	24,5
59	Q. La Candela	6,6	9,7	12,6	16,5	19,7	22,9	26,6	31,5
60	Q. El Rosario	7,7	11,0	14,0	18,2	21,6	25,2	29,1	34,4

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Coeficiente de escorrentía

En la literatura actual existen diversas referencias para la estimación de los coeficientes de escorrentía utilizados en el Método Racional Probabilístico. En el estudio hidrológico realizado para el Distrito de Medellín, el coeficiente de escorrentía “C” se estimó con base en la metodología planteada por (Natural Resources Conservation Service, 2007). Quien propone la siguiente relación con el número de curva mediante el almacenamiento y la abstracción inicial:

$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot I_a}$$

Donde, P es la escorrentía superficial, en mm, la es la abstracción inicial, en mm

De esta manera, para cada evento de precipitación se estima el respectivo coeficiente de escorrentía. Estos valores se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Coeficiente de escorrentía estimado para las cuencas priorizadas

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	0,57	0,63	0,66	0,71	0,74	0,76	0,79	0,82
2	Q. La Picacha	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88
3	Q. La Iguañá	0,64	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82
4	Q. Doña María	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
5	Q. La Presidenta	0,63	0,69	0,72	0,76	0,78	0,80	0,83	0,86
6	Q. La Poblada	0,65	0,70	0,73	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86
7	Q. Ana Díaz	0,69	0,73	0,75	0,78	0,80	0,81	0,83	0,85
8	Q. La Hondita	0,46	0,51	0,55	0,61	0,66	0,70	0,74	0,78
9	Q. La Hueso	0,77	0,80	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89
10	Q. Potreritos	0,60	0,63	0,66	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79
11	Q. La Volcana	0,60	0,68	0,73	0,77	0,79	0,81	0,83	0,86
12	Q. La Seca	0,69	0,74	0,77	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89
13	Q. La Lejía	0,44	0,49	0,53	0,57	0,61	0,64	0,67	0,71
14	Q. La Escopeteria	0,69	0,75	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,89
15	Q. La Sucia	0,61	0,64	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,81
16	Q. La Frisola	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76
17	Q. La Aguacatala	0,68	0,74	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88
18	Q. La Puerta - Borbollona	0,51	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,71	0,75
19	Q. El Ñato	0,41	0,48	0,54	0,60	0,65	0,69	0,73	0,77
20	Q. La Astillera	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79
21	Q. Altavista	0,77	0,79	0,81	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89
22	Q. Zúñiga	0,68	0,74	0,78	0,81	0,83	0,85	0,86	0,89
23	Q. El Hato - La Guayaba	0,47	0,51	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,72
24	Q. Canaveral - El Zancudo	0,68	0,73	0,77	0,81	0,83	0,85	0,87	0,90

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
25	Q. La Gómez	0,60	0,65	0,67	0,71	0,73	0,76	0,78	0,81
26	Q. La Guayabala	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,82	0,84	0,86
27	Q. El Ahorcado	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	0,68	0,73	0,77	0,81	0,83	0,86	0,88	0,90
29	Q. La Limona	0,72	0,75	0,77	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86
30	Q. Piedra Gorda	0,41	0,47	0,52	0,58	0,63	0,67	0,71	0,75
31	Q. Piedras Blancas	0,47	0,52	0,56	0,62	0,66	0,70	0,74	0,78
32	Q. Miserenga	0,52	0,56	0,59	0,63	0,65	0,68	0,71	0,74
33	Q. Malpaso	0,71	0,75	0,77	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86
34	Q. La Puerta	0,48	0,53	0,56	0,61	0,64	0,67	0,69	0,73
35	Q. La Pelahueso	0,77	0,79	0,81	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89
36	Q. La Madera	0,61	0,66	0,69	0,73	0,76	0,78	0,81	0,84
37	Q. La Castro	0,49	0,56	0,61	0,67	0,71	0,75	0,78	0,82
38	Q. La Cantera Ramal Sur	0,54	0,59	0,62	0,66	0,69	0,72	0,74	0,77
39	Q. La Quintana	0,68	0,72	0,75	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85
40	Q. La Chorrera - El Molino	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91
41	Q. La Paulita	0,77	0,82	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92
42	Q. La Moñonga	0,71	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86
43	Q. La Bermejala	0,79	0,82	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93
44	Q. La Leonarda	0,69	0,72	0,75	0,77	0,80	0,81	0,83	0,85
45	Q. La Guayaba	0,48	0,53	0,56	0,61	0,64	0,66	0,69	0,73
46	Q. La Larga	0,64	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81
47	Q. Agua Fría	0,44	0,48	0,52	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69
48	Q. La Despensa	0,60	0,63	0,66	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79
49	Q. La Honda	0,67	0,73	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90
50	Q. Minitas	0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72
51	Q. La Cañada	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,91	0,91	0,93
52	Q. La Arenera	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,70	0,72	0,75
53	Q. La García	0,53	0,57	0,60	0,64	0,67	0,70	0,72	0,76
54	Q. La Zorrita	0,54	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,76
55	Q. La Potrera	0,61	0,65	0,68	0,72	0,74	0,76	0,78	0,81
56	Q. La Mauala	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89
57	Q. La Manguala	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
58	Q. La Rafita	0,56	0,63	0,67	0,72	0,76	0,79	0,82	0,85
59	Q. La Candela	0,59	0,63	0,65	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78
60	Q. El Rosario	0,45	0,51	0,56	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.6 Distribución temporal de la tormenta

Con base en el número de curva, pérdidas hidrológicas y aplicando la metodología de bloques alternantes propuesta por (Chow V. T., 1988), se construyeron los hietogramas de precipitación total y precipitación efectiva. En las Ilustración 38 e Ilustración 39 se presentan algunos ejemplos de los aguaceros de diseño estimados para las cuencas estudiadas.

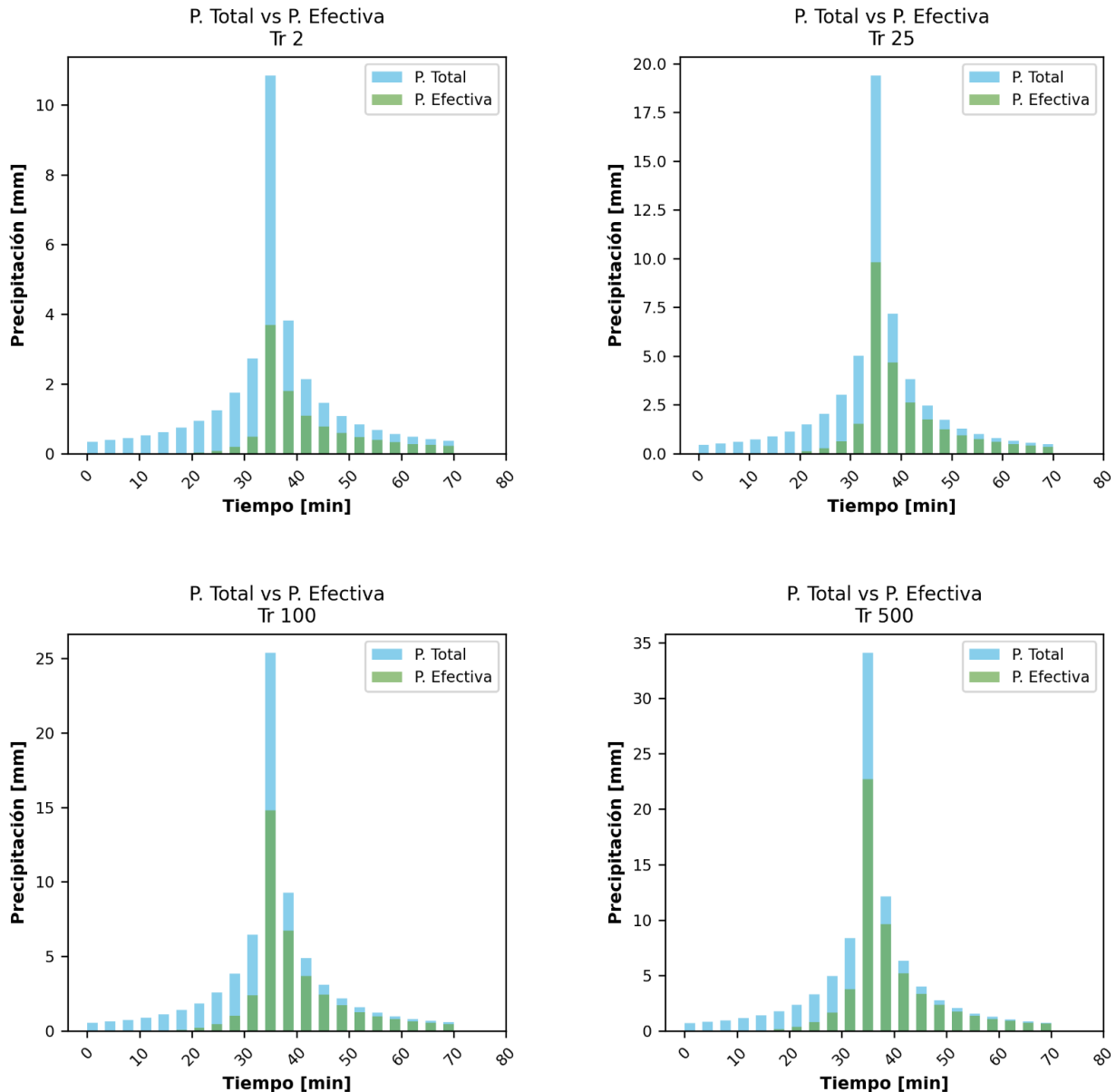


Ilustración 38. Aguacero de diseño en la quebrada La Presidenta

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

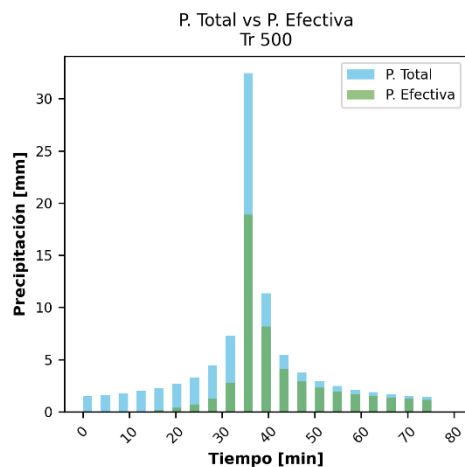
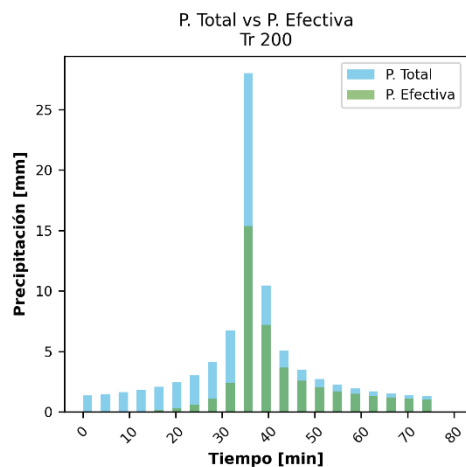
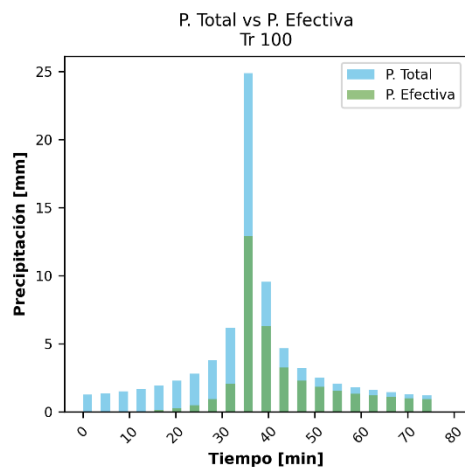
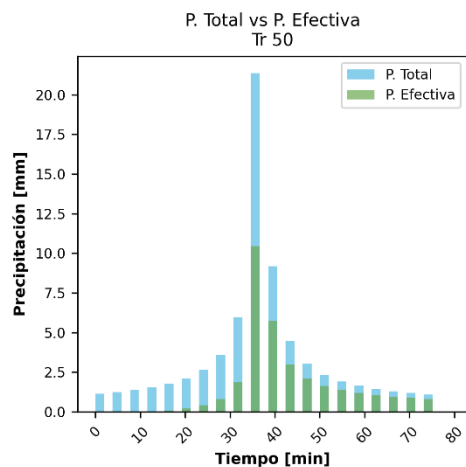
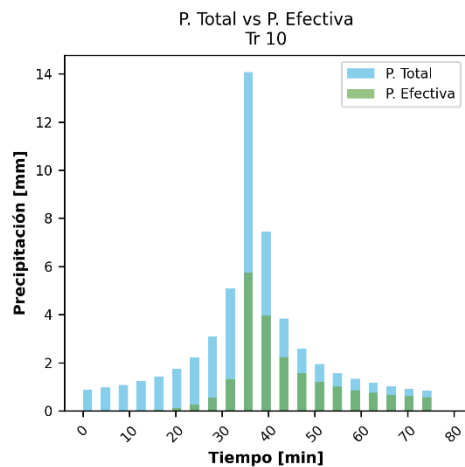
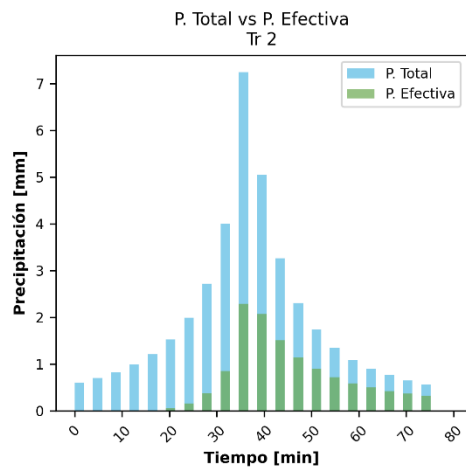


Ilustración 39. Aguacero de diseño en la quebrada Ana Díaz

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

2.4.7 Cálculo de caudales máximos

A partir de los valores de intensidad de lluvia, número de curva, coeficiente de escorrentía y el área se obtuvieron los valores de caudal máximo para diferentes periodos de retorno con las metodologías de hidrógrafas unitarias del SCS, Snyder y Clark y Racional. En la Ilustración 40 a Ilustración 45 se presentan algunos resultados obtenidos. En la Tabla 27 a Tabla 31 se presentan los caudales máximos estimados por las diferentes metodologías y un período de retorno de 100 años.

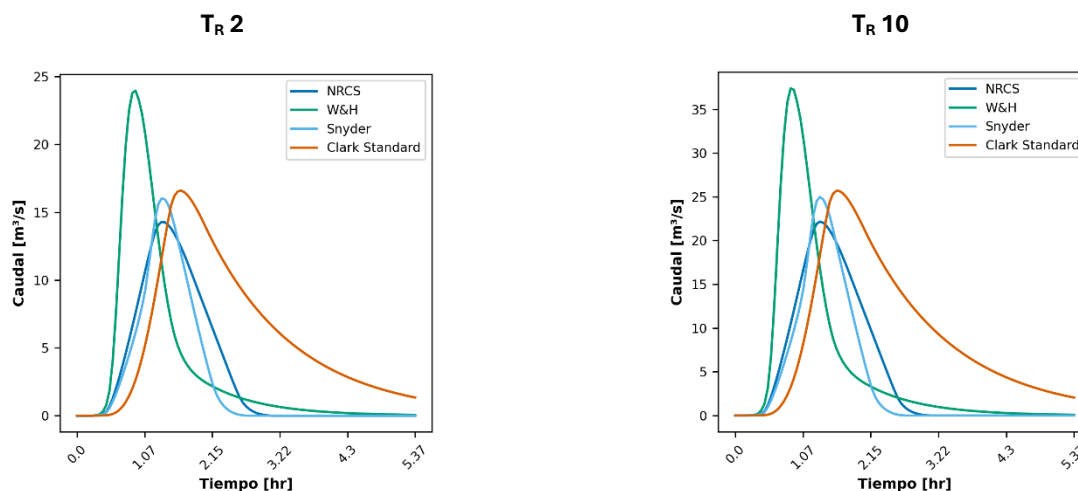


Ilustración 40. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_R 2 años (izquierda) y 10 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

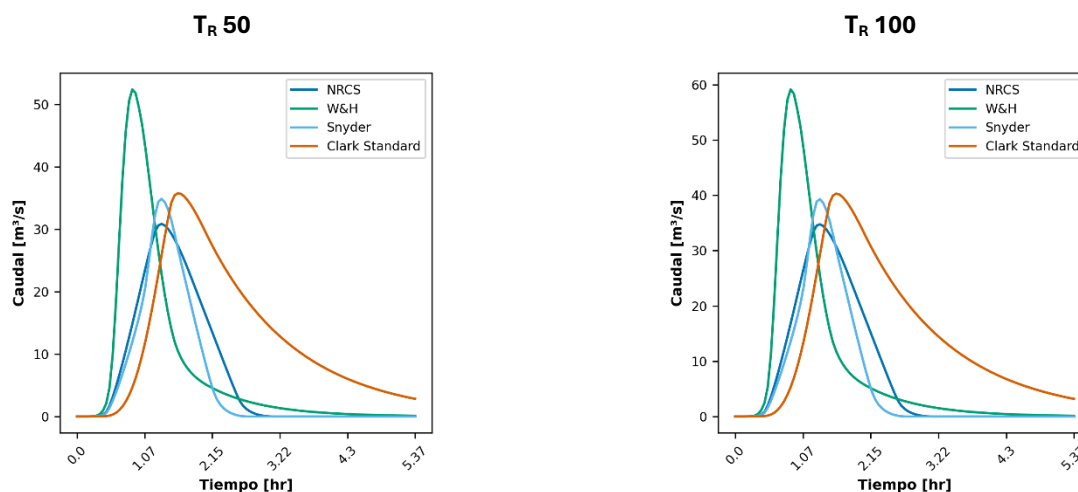


Ilustración 41. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_R 50 años (izquierda) y 100 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

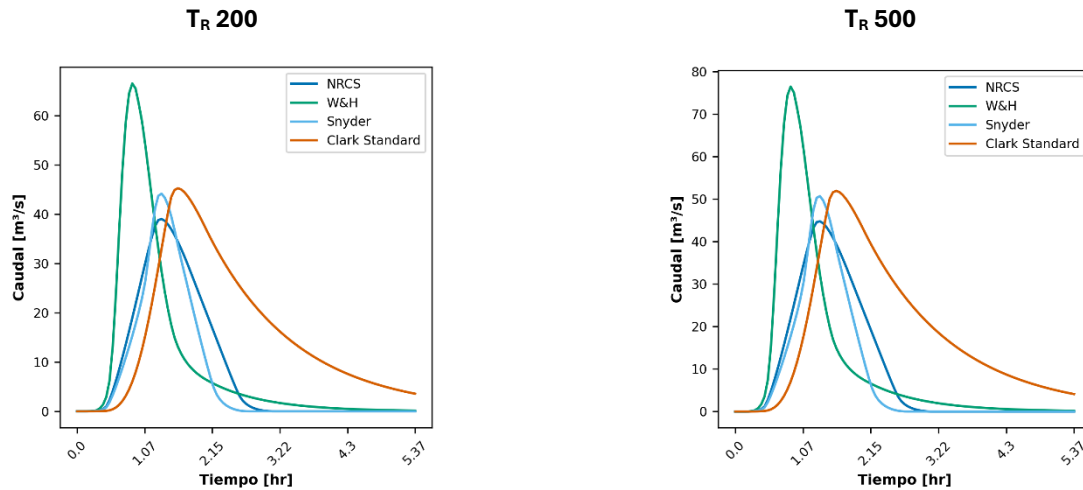


Ilustración 42. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada Doña María para T_r 200 años (izquierda) y 500 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

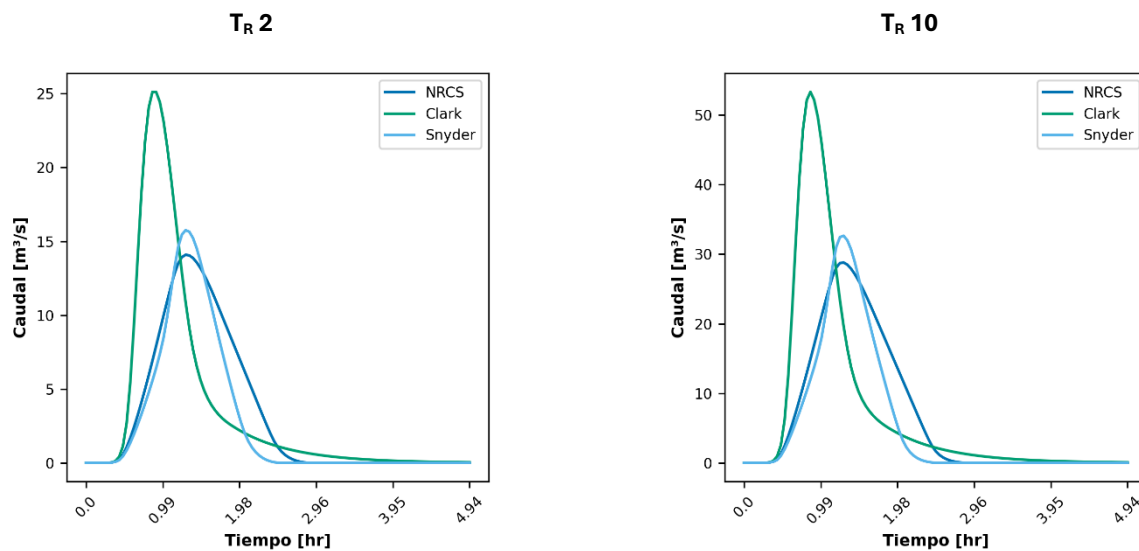


Ilustración 43. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para T_r 2 años (izquierda) y 10 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

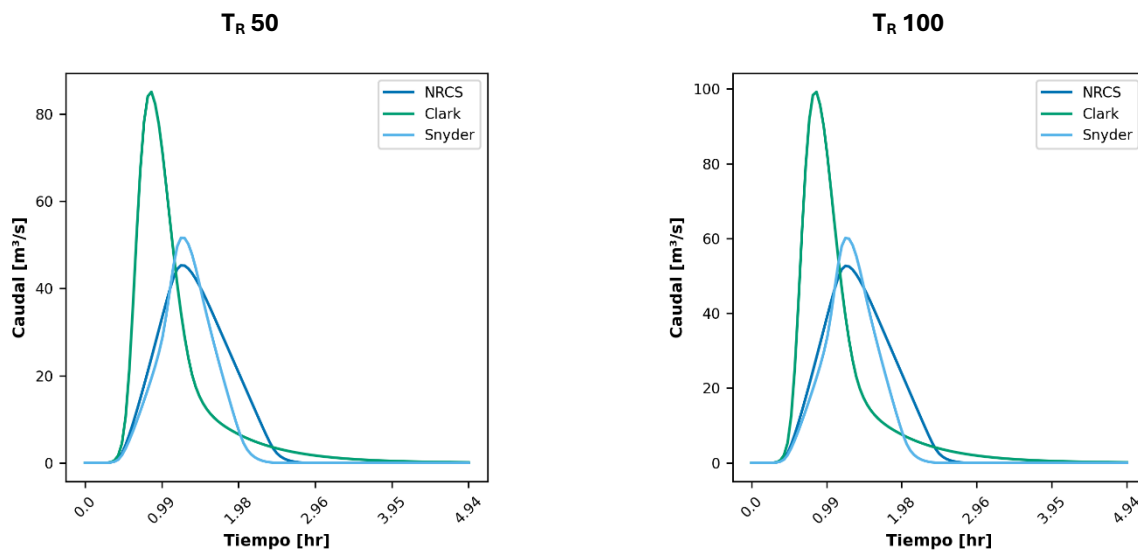


Ilustración 44. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para T_R 50 años (izquierda) y 100 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

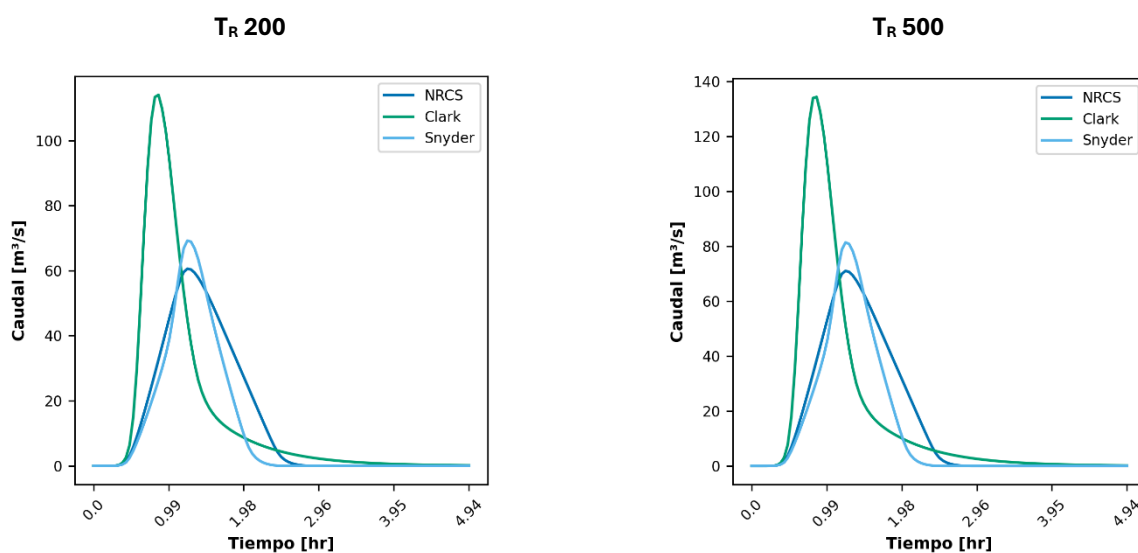


Ilustración 45. Hidrógrafa de respuesta de la quebrada La Aguacatala para T_R 200 años (izquierda) y 500 años (derecha).

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 27. Caudales máximos (m^3/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Snyder

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	58,52	83,67	107,16	140,91	168,77	199,25	232,92	281,38
2	Q. La Picacha	34,06	45,83	56,42	71,49	83,65	96,52	111,20	131,84
3	Q. La Iguaná	79,16	113,93	145,30	188,60	223,08	259,64	297,97	351,21
4	Q. Doña María	122,34	166,46	206,13	263,54	311,47	363,98	421,62	506,40

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
5	Q. La Presidenta	22,81	33,64	43,72	58,86	71,96	86,70	103,61	129,08
6	Q. La Poblada	33,36	47,63	61,05	81,85	100,36	121,66	146,56	184,68
7	Q. Ana Diaz	23,47	32,30	40,40	51,89	60,99	70,40	81,00	95,62
8	Q. La Hondita	0,82	1,29	1,72	2,33	2,82	3,34	3,90	4,67
9	Q. La Hueso	70,94	95,49	117,26	147,61	171,68	197,03	225,07	263,98
10	Q. Potreritos	22,69	32,25	41,19	54,81	66,13	78,20	92,50	112,78
11	Q. La Volcana	2,73	4,67	6,46	8,91	10,85	12,84	14,90	17,85
12	Q. La Seca	12,34	17,41	21,62	27,82	32,67	37,51	42,80	49,82
13	Q. La Lejía	7,55	11,66	15,58	21,51	26,25	31,07	36,94	44,77
14	Q. La Escopetería	8,98	14,44	19,36	26,05	31,27	36,63	42,18	50,13
15	Q. La Sucia	117,01	163,48	207,00	275,03	335,87	406,16	487,56	613,77
16	Q. La Frisola	31,74	44,91	57,43	77,23	95,22	115,85	140,30	177,91
17	Q. La Aguacatala	15,85	24,88	32,97	43,79	52,15	60,71	69,90	82,25
18	Q. La Puerta - Borbollona	5,75	8,77	11,66	15,87	19,21	22,62	26,79	32,27
19	Q. El Nato	5,85	9,81	13,55	18,86	23,22	27,97	33,29	40,63
20	Q. La Astillera	16,62	22,68	28,50	38,15	47,21	58,06	70,98	91,78
21	Q. Altavista	102,28	137,10	169,01	215,02	253,80	295,97	343,47	412,70
22	Q. Zúñiga	6,98	11,36	15,34	20,69	24,83	29,04	33,37	39,50
23	Q. El Hato - La Guayaba	1,83	3,05	4,22	5,93	7,33	8,75	10,50	12,82
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	5,01	7,01	8,71	11,02	12,80	14,62	16,61	19,24
25	Q. La Gómez	4,68	7,02	9,18	12,32	14,88	17,58	20,80	25,22
26	Q. La Guayabala	17,11	23,37	29,15	37,09	43,54	50,06	57,35	67,16
27	Q. El Ahorcado	6,02	8,16	10,00	12,46	14,36	16,27	18,35	21,08
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	4,81	6,63	8,18	10,28	11,91	13,55	15,36	17,78
29	Q. La Limona	13,78	18,73	23,26	29,32	34,27	39,16	44,68	51,93
30	Q. Piedra Gorda	7,74	12,32	16,62	22,75	27,71	33,15	39,05	47,16
31	Q. Piedras Blancas	43,32	63,19	81,65	108,98	131,08	154,51	180,00	214,88
32	Q. Miserenga	14,80	21,89	28,82	39,79	49,79	61,61	75,48	97,29
33	Q. Malpaso	12,58	16,98	21,03	27,17	32,41	38,19	44,94	54,92
34	Q. La Puerta	6,61	10,32	13,80	19,02	23,19	27,38	32,54	39,35
35	Q. La Pelahueso	10,14	14,34	18,04	23,20	27,11	30,91	35,40	41,11
36	Q. La Madera	8,49	12,60	16,37	21,77	26,22	30,98	36,38	43,90
37	Q. La Castro	8,97	13,30	17,19	22,63	27,04	31,81	37,05	44,24
38	Q. La Cantera Ramal Sur	1,83	2,63	3,39	4,57	5,64	6,86	8,32	10,56
39	Q. La Quintana	6,58	8,99	11,18	14,57	17,52	20,83	24,70	30,55
40	Q. La Chorrera - El Molino	23,76	32,08	39,16	48,70	56,08	63,52	71,62	82,30
41	Q. La Paulita	7,15	11,21	14,76	19,42	22,96	26,53	30,16	35,26
42	Q. La Moñonga	11,54	15,60	19,34	25,01	29,83	35,11	41,28	50,36

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
43	Q. La Bermejala	17,45	22,88	27,44	33,64	38,49	43,44	48,86	56,19
44	Q. La Leonarda	7,53	11,06	14,26	18,76	22,22	25,64	29,78	35,14
45	Q. La Guayaba	0,09	0,21	0,34	0,53	0,70	0,89	1,09	1,38
46	Q. La Larga	18,26	24,76	31,08	39,69	46,79	53,96	62,07	72,99
47	Q. Agua Fría	1,93	3,18	4,38	6,18	7,62	9,11	10,96	13,42
48	Q. La Despensa	6,58	9,79	12,79	16,86	20,27	23,71	27,67	32,94
49	Q. La Honda	13,01	17,92	22,18	27,96	32,44	36,99	41,95	48,50
50	Q. Minitas	3,35	4,73	6,08	8,36	10,55	13,21	16,44	21,72
51	Q. La Cañada	0,51	0,84	1,14	1,54	1,85	2,17	2,50	2,95
52	Q. La Arenera	3,66	5,48	7,19	9,90	12,34	15,17	18,57	23,83
53	Q. La García	2,13	3,54	4,84	6,78	8,32	9,86	11,76	14,30
54	Q. La Zorrita	0,40	0,75	1,09	1,59	2,00	2,43	2,93	3,61
55	Q. La Potrera	1,91	3,16	4,31	5,94	7,25	8,57	10,14	12,19
56	Q. La Mauala	2,75	4,03	5,15	6,63	7,81	8,98	10,28	11,98
57	Q. La Manguala	15,47	20,90	26,03	32,82	38,32	43,76	49,95	58,22
58	Q. La Rafita	1,62	2,35	3,00	3,90	4,60	5,31	6,10	7,15
59	Q. La Candela	5,17	7,74	10,18	13,48	16,20	18,97	22,19	26,50
60	Q. El Rosario	8,71	12,95	16,84	22,30	26,71	31,47	36,81	44,12

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 28. Caudales máximos (m³/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de NRCS

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	47,10	67,19	85,63	112,03	133,88	157,61	183,89	221,69
2	Q. La Picacha	26,19	35,02	43,02	54,49	63,77	73,59	84,47	99,79
3	Q. La Iguañá	72,24	104,29	133,11	172,69	204,23	237,82	272,55	321,01
4	Q. Doña María	99,15	135,15	167,27	214,17	253,22	296,16	343,00	412,09
5	Q. La Presidenta	20,28	29,74	38,53	51,72	63,12	75,95	90,72	112,84
6	Q. La Poblada	28,51	40,53	51,76	69,14	84,59	102,36	123,19	154,89
7	Q. Ana Diaz	21,34	29,28	36,57	46,89	55,07	63,57	73,03	85,99
8	Q. La Hondita	0,69	1,09	1,45	1,97	2,38	2,81	3,28	3,93
9	Q. La Hueso	59,34	79,93	98,22	123,61	143,77	164,97	187,83	219,64
10	Q. Potreritos	20,55	29,04	37,01	48,97	58,97	69,64	82,22	100,09
11	Q. La Volcana	2,41	4,10	5,66	7,79	9,46	11,17	12,94	15,49
12	Q. La Seca	11,18	15,60	19,27	24,64	28,83	33,02	37,59	43,65
13	Q. La Lejía	6,85	10,47	13,94	19,10	23,26	27,49	32,62	39,43
14	Q. La Escopetería	7,93	12,69	16,95	22,70	27,18	31,80	36,58	43,45
15	Q. La Sucia	95,30	132,96	168,14	223,01	272,06	328,70	394,10	495,52
16	Q. La Frisola	20,49	28,74	36,67	49,18	60,30	73,04	88,01	111,02

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
17	Q. La Aguacatala	14,17	22,03	29,07	38,46	45,72	53,18	61,17	71,78
18	Q. La Puerta - Borbollona	5,20	7,85	10,33	14,00	16,90	19,79	23,35	28,06
19	Q. El Ñato	5,28	8,78	12,01	16,62	20,41	24,51	29,04	35,31
20	Q. La Astillera	14,86	20,25	25,39	33,87	41,86	51,42	62,80	81,10
21	Q. Altavista	56,57	75,02	91,71	115,77	135,94	157,95	182,49	218,46
22	Q. Zúñiga	6,20	10,04	13,48	18,10	21,68	25,33	29,07	34,40
23	Q. El Hato - La Guayaba	1,63	2,69	3,67	5,13	6,30	7,46	8,93	10,87
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	4,45	6,17	7,64	9,63	11,17	12,72	14,42	16,65
25	Q. La Gómez	4,17	6,17	7,98	10,65	12,81	15,02	17,71	21,40
26	Q. La Guayabala	15,38	20,80	25,85	32,70	38,27	43,91	50,21	58,66
27	Q. El Ahorcado	5,35	7,22	8,80	10,91	12,56	14,20	16,00	18,36
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	4,28	5,85	7,19	9,01	10,43	11,85	13,41	15,48
29	Q. La Limona	12,41	16,62	20,53	25,68	29,90	34,06	38,76	44,93
30	Q. Piedra Gorda	4,46	6,71	8,80	11,82	14,26	16,93	19,81	23,77
31	Q. Piedras Blancas	21,01	30,20	38,76	50,65	60,18	70,19	81,00	95,73
32	Q. Miserenga	13,34	19,67	25,79	35,53	44,39	54,86	67,14	86,44
33	Q. Malpaso	11,11	14,88	18,35	23,62	28,12	33,09	38,87	47,43
34	Q. La Puerta	5,96	9,18	12,22	16,69	20,27	23,87	28,31	34,14
35	Q. La Pelahueso	9,21	12,80	15,93	20,33	23,66	26,90	30,75	35,64
36	Q. La Madera	7,66	11,24	14,55	19,29	23,13	27,24	31,92	38,43
37	Q. La Castro	8,11	11,89	15,29	20,06	23,91	28,03	32,58	38,80
38	Q. La Cantera Ramal Sur	1,52	2,17	2,77	3,73	4,58	5,56	6,73	8,52
39	Q. La Quintana	5,66	7,66	9,49	12,32	14,78	17,53	20,77	25,63
40	Q. La Chorrera - El Molino	21,26	28,53	34,71	43,04	49,50	56,00	63,08	72,43
41	Q. La Paulita	6,37	9,89	12,96	17,01	20,09	23,18	26,34	30,79
42	Q. La Moñonga	10,20	13,70	16,90	21,77	25,91	30,45	35,74	43,52
43	Q. La Bermejala	15,51	20,25	24,23	29,64	33,88	38,20	42,93	49,34
44	Q. La Leonarda	6,81	9,84	12,53	16,37	19,32	22,21	25,68	30,14
45	Q. La Guayaba	0,07	0,17	0,28	0,43	0,56	0,70	0,86	1,08
46	Q. La Larga	16,41	22,11	27,62	35,14	41,33	47,60	54,65	64,16
47	Q. Agua Fría	1,72	2,81	3,83	5,36	6,59	7,83	9,38	11,44
48	Q. La Despensa	5,86	8,57	11,11	14,52	17,34	20,18	23,48	27,86
49	Q. La Honda	11,64	15,97	19,64	24,66	28,56	32,51	36,83	42,53
50	Q. Minitas	2,79	3,93	5,03	6,90	8,68	10,85	13,49	17,80
51	Q. La Cañada	0,44	0,71	0,95	1,27	1,51	1,76	2,02	2,36
52	Q. La Arenera	3,14	4,64	6,05	8,30	10,31	12,60	15,38	19,65
53	Q. La García	1,90	3,10	4,21	5,82	7,11	8,39	9,97	12,05
54	Q. La Zorrita	0,34	0,63	0,91	1,31	1,64	1,99	2,38	2,92

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
55	Q. La Potrera	1,67	2,72	3,65	4,98	6,02	7,06	8,32	9,95
56	Q. La Mauala	2,45	3,51	4,44	5,64	6,59	7,54	8,60	9,99
57	Q. La Manguala	13,89	18,53	22,94	28,77	33,52	38,20	43,48	50,49
58	Q. La Rafita	1,41	2,04	2,59	3,35	3,94	4,54	5,21	6,10
59	Q. La Candela	4,61	6,81	8,85	11,62	13,91	16,20	18,86	22,41
60	Q. El Rosario	5,22	7,46	9,58	12,54	14,93	17,50	20,27	24,05

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 29. Caudales máximos (m³/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Williams y Hann

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	89,18	128,42	164,40	216,24	258,87	305,79	357,46	431,77
2	Q. La Picacha	43,75	58,61	72,02	91,25	107,12	123,82	142,74	169,23
3	Q. La Iguaá	133,10	190,38	242,66	315,93	374,25	435,40	501,77	593,07
4	Q. Doña María	164,39	222,83	275,98	352,95	417,60	488,22	566,38	681,09
5	Q. La Presidenta	43,59	64,97	84,91	114,90	140,86	170,05	203,28	253,89
6	Q. La Poblada	61,97	89,08	114,47	153,73	188,71	229,61	277,26	350,92
7	Q. Ana Díaz	37,21	51,40	64,61	83,46	98,40	113,75	131,39	155,32
8	Q. La Hondita	2,20	3,37	4,48	6,01	7,22	8,50	9,92	11,85
9	Q. La Hueso	105,12	141,22	173,37	218,54	254,34	291,55	332,96	390,26
10	Q. Potreritos	41,57	60,54	78,51	105,41	127,71	151,41	179,76	219,90
11	Q. La Volcana	5,79	10,02	13,94	19,29	23,49	27,91	32,51	39,00
12	Q. La Seca	22,95	32,90	41,17	53,16	62,68	72,19	82,59	96,38
13	Q. La Lejía	14,63	22,94	31,05	43,04	52,61	62,35	74,55	90,70
14	Q. La Escopetería	17,01	27,72	37,52	50,80	61,17	71,82	82,88	98,62
15	Q. La Sucia	192,28	268,68	340,42	452,81	553,32	669,41	805,95	1019,74
16	Q. La Frisola	40,84	58,10	74,53	100,51	123,61	149,98	181,38	229,51
17	Q. La Aguacatala	27,30	43,41	57,88	77,26	92,32	107,95	124,35	146,99
18	Q. La Puerta - Borbollona	10,31	15,78	21,02	28,67	34,72	40,75	48,18	58,20
19	Q. El Nato	10,21	16,99	23,48	32,82	40,53	49,10	58,59	71,71
20	Q. La Astillera	28,59	39,21	49,35	66,18	81,98	100,92	123,49	159,84
21	Q. Altavista	99,64	132,02	161,52	203,95	239,74	278,55	322,26	386,26
22	Q. Zúñiga	11,12	18,11	24,41	32,89	39,53	46,29	53,21	63,09
23	Q. El Hato - La Guayaba	3,26	5,34	7,33	10,26	12,67	15,11	18,20	22,30
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	9,40	13,16	16,38	20,72	24,11	27,58	31,35	36,33
25	Q. La Gómez	7,63	11,57	15,16	20,50	24,89	29,43	34,89	42,37
26	Q. La Guayabala	26,33	36,26	45,53	57,93	68,01	78,16	89,63	105,39
27	Q. El Ahorcado	9,85	13,38	16,36	20,44	23,60	26,77	30,21	34,75
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	8,76	12,11	14,99	18,99	22,09	25,24	28,68	33,23

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
29	Q. La Limona	23,71	32,48	40,56	51,47	60,43	69,29	79,33	92,50
30	Q. Piedra Gorda	4,23	6,36	8,33	11,14	13,44	15,96	18,67	22,41
31	Q. Piedras Blancas	16,33	23,34	29,85	38,93	46,21	53,84	62,08	73,30
32	Q. Miserenga	29,46	43,86	57,97	80,59	101,56	126,45	155,79	202,14
33	Q. Malpaso	20,26	27,44	33,98	44,09	52,74	62,29	73,46	89,99
34	Q. La Puerta	11,60	17,99	24,11	33,09	40,28	47,51	56,80	69,08
35	Q. La Pelahueso	14,72	20,75	26,08	33,51	39,26	44,84	51,45	59,87
36	Q. La Madera	13,82	20,37	26,38	35,27	42,58	50,38	59,28	71,65
37	Q. La Castro	15,46	23,11	29,97	39,55	47,29	55,69	64,97	77,66
38	Q. La Cantera Ramal Sur	2,99	4,31	5,55	7,51	9,27	11,29	13,69	17,40
39	Q. La Quintana	10,25	14,05	17,49	22,80	27,43	32,61	38,70	47,86
40	Q. La Chorrera - El Molino	41,48	56,49	69,18	86,23	99,39	113,06	127,95	147,64
41	Q. La Paulita	11,10	17,48	23,02	30,29	35,88	41,55	47,32	55,45
42	Q. La Moñonga	20,72	28,48	35,56	46,26	55,37	65,39	77,09	94,34
43	Q. La Bermejala	32,89	43,17	51,90	63,76	73,03	82,48	92,95	107,36
44	Q. La Leonarda	11,13	16,27	20,89	27,52	32,68	37,73	43,79	51,58
45	Q. La Guayaba	0,25	0,57	0,89	1,38	1,79	2,26	2,77	3,50
46	Q. La Larga	28,72	39,42	49,66	63,49	74,92	86,43	99,74	117,91
47	Q. Agua Fría	2,99	4,85	6,62	9,31	11,49	13,67	16,43	20,14
48	Q. La Despensa	11,74	17,38	22,69	29,94	35,98	42,03	49,22	58,88
49	Q. La Honda	23,49	32,75	40,64	51,52	60,09	68,80	78,29	90,84
50	Q. Minitas	5,55	7,82	10,03	13,82	17,45	21,88	27,24	36,05
51	Q. La Cañada	0,95	1,53	2,04	2,72	3,23	3,77	4,34	5,09
52	Q. La Arenera	7,16	10,87	14,41	20,04	25,08	30,89	37,86	48,62
53	Q. La García	4,15	6,77	9,23	12,93	15,86	18,80	22,40	27,12
54	Q. La Zorrita	0,97	1,77	2,53	3,64	4,57	5,56	6,70	8,27
55	Q. La Potrera	3,62	5,85	7,95	10,98	13,39	15,87	18,84	22,78
56	Q. La Mauala	3,81	5,49	6,95	8,89	10,42	11,92	13,64	15,89
57	Q. La Manguala	26,60	36,08	45,07	56,87	66,81	76,71	87,93	102,70
58	Q. La Rafita	3,19	4,60	5,84	7,55	8,91	10,30	11,81	13,83
59	Q. La Candela	8,50	12,60	16,43	21,68	26,10	30,61	35,81	42,75
60	Q. El Rosario	4,82	6,89	8,82	11,51	13,69	16,06	18,61	22,10

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 30. Caudales máximos (m³/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Clark

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	104,92	149,44	190,28	248,76	297,25	350,39	409,25	493,94
2	Q. La Picacha	46,07	61,56	75,64	95,65	111,84	128,97	147,95	174,65

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
3	Q. La Iguaná	189,26	273,00	348,31	451,63	534,24	622,26	713,28	840,32
4	Q. Doña María	271,33	369,75	457,69	585,19	691,12	807,64	935,26	1123,68
5	Q. La Presidenta	23,20	33,95	43,99	59,10	72,16	86,85	103,75	129,11
6	Q. La Poblada	38,93	55,35	70,68	94,41	115,49	139,72	168,12	211,50
7	Q. Ana Díaz	34,81	47,63	59,38	76,01	89,31	103,12	118,53	139,61
8	Q. La Hondita	0,27	0,42	0,56	0,76	0,92	1,08	1,26	1,51
9	Q. La Hueso	123,37	165,84	203,62	256,11	297,80	341,68	388,92	454,70
10	Q. Potreritos	23,91	33,65	42,84	56,71	68,19	80,44	94,89	115,44
11	Q. La Volcana	1,41	2,40	3,30	4,54	5,52	6,52	7,55	9,04
12	Q. La Seca	10,81	15,05	18,56	23,77	27,79	31,80	36,18	41,99
13	Q. La Lejía	6,32	9,63	12,80	17,53	21,31	25,14	29,82	36,06
14	Q. La Escopetería	5,36	8,56	11,44	15,32	18,34	21,45	24,67	29,32
15	Q. La Sucia	252,51	351,85	444,61	589,65	719,55	869,60	1042,89	1311,78
16	Q. La Frisola	31,78	44,59	56,83	76,10	93,22	112,82	135,92	171,53
17	Q. La Aguacatala	15,17	23,59	31,13	41,20	49,05	57,05	65,61	77,03
18	Q. La Puerta - Borbollona	4,32	6,50	8,54	11,55	13,93	16,31	19,25	23,11
19	Q. El Ñato	3,75	6,22	8,51	11,75	14,41	17,32	20,53	24,96
20	Q. La Astillera	18,70	25,48	31,93	42,61	52,64	64,65	78,94	101,91
21	Q. Altavista	119,03	157,61	192,53	243,01	285,62	332,12	384,05	459,79
22	Q. Zúñiga	4,29	6,93	9,32	12,51	14,97	17,48	20,07	23,76
23	Q. El Hato - La Guayaba	1,03	1,69	2,31	3,22	3,95	4,69	5,60	6,81
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	2,74	3,79	4,68	5,91	6,85	7,80	8,84	10,21
25	Q. La Gómez	2,95	4,35	5,62	7,49	9,00	10,56	12,46	15,04
26	Q. La Guayabala	17,18	23,20	28,82	36,38	42,59	48,85	55,86	65,28
27	Q. El Ahorcado	3,69	4,99	6,07	7,54	8,66	9,79	11,02	12,65
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	2,83	3,86	4,75	5,95	6,88	7,81	8,84	10,20
29	Q. La Limona	11,62	15,51	19,16	23,95	27,85	31,71	36,10	41,86
30	Q. Piedra Gorda	5,73	8,60	11,28	15,12	18,22	21,61	25,31	30,40
31	Q. Piedras Blancas	49,66	71,31	91,40	119,28	141,65	165,13	190,76	225,83
32	Q. Miserenga	16,80	24,75	32,46	44,67	55,77	68,89	84,27	108,43
33	Q. Malpaso	11,33	15,16	18,68	24,03	28,60	33,63	39,51	48,19
34	Q. La Puerta	4,68	7,19	9,54	13,03	15,81	18,58	22,02	26,57
35	Q. La Pelahueso	7,64	10,58	13,15	16,77	19,50	22,14	25,30	29,35
36	Q. La Madera	7,16	10,49	13,55	17,96	21,54	25,36	29,70	35,72
37	Q. La Castro	8,09	11,84	15,21	19,93	23,78	27,88	32,39	38,55
38	Q. La Cantera Ramal Sur	0,84	1,20	1,53	2,06	2,53	3,07	3,72	4,72
39	Q. La Quintana	4,32	5,84	7,24	9,39	11,27	13,37	15,84	19,56
40	Q. La Chorrera - El Molino	21,47	28,80	35,01	43,39	49,87	56,41	63,52	72,91

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
41	Q. La Paulita	4,40	6,83	8,95	11,73	13,86	16,01	18,19	21,28
42	Q. La Moñonga	10,40	13,95	17,21	22,15	26,35	30,95	36,33	44,22
43	Q. La Bermejala	15,20	19,82	23,69	28,96	33,08	37,31	41,95	48,24
44	Q. La Leonarda	5,24	7,53	9,59	12,49	14,75	16,94	19,60	23,00
45	Q. La Guayaba	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,31	0,38
46	Q. La Larga	19,82	26,67	33,26	42,21	49,63	57,18	65,69	77,16
47	Q. Agua Fría	1,17	1,90	2,59	3,61	4,44	5,27	6,31	7,68
48	Q. La Despensa	3,97	5,80	7,50	9,79	11,69	13,60	15,82	18,77
49	Q. La Honda	10,17	13,95	17,15	21,50	24,90	28,35	32,11	37,08
50	Q. Minitas	1,62	2,28	2,93	4,01	5,05	6,31	7,84	10,35
51	Q. La Cañada	0,16	0,26	0,35	0,47	0,55	0,65	0,74	0,87
52	Q. La Arenera	1,83	2,70	3,52	4,83	5,99	7,33	8,95	11,43
53	Q. La García	1,15	1,86	2,52	3,48	4,25	5,01	5,95	7,19
54	Q. La Zorrita	0,14	0,25	0,37	0,53	0,66	0,80	0,95	1,17
55	Q. La Potrera	0,93	1,50	2,02	2,75	3,33	3,89	4,58	5,49
56	Q. La Mauala	1,40	2,00	2,52	3,20	3,74	4,28	4,89	5,67
57	Q. La Manguala	14,03	18,69	23,11	28,93	33,68	38,42	43,78	50,83
58	Q. La Rafita	0,69	0,99	1,26	1,63	1,91	2,21	2,53	2,96
59	Q. La Candela	3,06	4,50	5,84	7,66	9,17	10,68	12,44	14,79
60	Q. El Rosario	8,68	12,41	15,86	20,76	24,74	29,01	33,62	39,90

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Tabla 31. Caudales máximos (m³/s) estimados para las cuencas priorizadas por el método de Racional

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
1	Q. Santa Elena	116,28	152,64	186,17	237,50	281,57	332,66	396,15	496,34
2	Q. La Picacha	58,13	69,93	80,22	95,40	106,88	119,88	134,54	158,55
3	Q. La Iguañá	171,60	207,64	250,38	305,79	348,78	393,51	436,69	511,88
4	Q. Doña María	261,05	307,17	346,52	408,10	467,75	534,84	610,24	724,32
5	Q. La Presidenta	47,12	63,31	77,39	97,45	114,09	132,30	157,76	198,02
6	Q. La Poblada	61,60	80,86	97,79	122,74	144,02	169,66	201,21	250,87
7	Q. Ana Diaz	51,06	61,93	71,31	85,31	97,16	110,38	125,30	148,93
8	Q. La Hondita	5,24	6,77	8,46	11,77	14,91	18,71	23,27	30,72
9	Q. La Hueso	119,25	142,43	164,65	196,07	219,54	243,48	271,53	318,59
10	Q. Potreritos	73,81	89,33	102,80	123,19	140,79	160,49	182,52	217,05
11	Q. La Volcana	7,88	11,96	15,40	19,82	23,13	26,43	30,35	38,80
12	Q. La Seca	30,00	39,11	47,53	60,98	73,24	87,61	104,44	131,15
13	Q. La Lejía	32,16	41,44	49,78	62,81	74,38	87,64	102,78	126,06
14	Q. La Escopetería	21,09	30,43	38,24	48,27	55,82	63,39	72,30	91,49

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
15	Q. La Sucia	263,87	312,06	356,05	421,17	496,30	581,61	677,40	828,06
16	Q. La Frisola	75,62	89,83	101,98	120,14	135,63	152,78	173,62	212,35
17	Q. La Aguacatala	31,59	44,32	54,95	68,46	78,54	88,56	105,44	133,97
18	Q. La Puerta - Borbollona	24,31	30,65	36,26	44,91	52,51	61,14	70,90	85,77
19	Q. El Ñato	23,69	34,63	45,28	63,20	80,23	100,83	125,62	166,08
20	Q. La Astillera	62,16	71,47	79,25	90,60	100,06	110,33	121,49	143,60
21	Q. Altavista	122,37	147,85	169,96	202,46	230,43	261,52	296,42	350,87
22	Q. Zúñiga	16,58	24,14	30,45	38,50	44,49	50,45	57,51	72,98
23	Q. El Hato - La Guayaba	11,66	14,85	17,71	22,13	26,03	30,47	35,51	43,21
24	Q. Cañaveral - El Zancudo	14,05	18,76	23,15	30,27	36,84	44,65	53,89	68,76
25	Q. La Gómez	18,75	23,30	27,25	33,11	38,10	43,63	50,28	60,88
26	Q. La Guayabala	45,24	55,08	63,53	75,96	86,47	98,06	111,82	132,77
27	Q. El Ahorcado	14,37	19,04	23,39	30,43	36,92	44,62	53,75	68,46
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	12,43	16,64	20,55	26,92	32,81	39,80	48,10	61,46
29	Q. La Limona	41,43	49,49	56,42	66,85	75,80	85,79	96,90	113,55
30	Q. Piedra Gorda	14,26	20,10	25,90	35,55	44,64	55,56	68,62	89,79
31	Q. Piedras Blancas	60,25	79,13	97,01	132,25	166,03	206,52	255,36	334,64
32	Q. Miserenga	64,65	79,30	92,27	112,34	130,08	150,35	173,52	214,59
33	Q. Malpaso	31,13	38,31	44,33	52,53	59,04	65,89	73,32	90,11
34	Q. La Puerta	30,91	39,22	46,60	58,03	68,09	79,54	92,51	112,30
35	Q. La Pelahueso	27,79	33,32	38,11	45,35	51,61	58,62	66,48	78,33
36	Q. La Madera	27,79	35,67	42,70	53,46	62,92	73,72	86,29	107,62
37	Q. La Castro	25,05	35,47	45,44	61,97	77,52	96,18	118,51	154,72
38	Q. La Cantera Ramal Sur	6,63	8,40	9,97	12,40	14,55	17,00	19,78	24,04
39	Q. La Quintana	17,84	22,18	25,82	30,71	34,56	38,56	44,08	54,69
40	Q. La Chorrera - El Molino	48,52	64,29	78,93	102,62	124,46	150,34	181,00	230,53
41	Q. La Paulita	14,87	21,05	26,17	32,65	37,46	42,23	47,88	60,22
42	Q. La Moñonga	28,70	35,31	40,86	48,45	54,52	60,93	67,89	83,29
43	Q. La Bermejala	32,55	42,05	50,72	64,39	76,77	91,27	108,35	136,97
44	Q. La Leonarda	25,73	31,27	36,10	43,44	49,80	56,94	64,97	77,09
45	Q. La Guayaba	2,41	3,06	3,64	4,53	5,32	6,22	7,24	8,79
46	Q. La Larga	56,84	68,73	79,02	94,56	107,96	122,93	139,64	164,90
47	Q. Agua Fría	11,63	14,94	17,91	22,53	26,62	31,29	36,60	44,73
48	Q. La Despensa	33,03	40,34	46,70	56,35	64,70	74,05	84,51	100,26
49	Q. La Honda	30,18	40,50	50,14	65,81	80,32	97,56	118,02	150,99
50	Q. Minitas	20,55	23,93	26,77	30,93	34,42	38,22	42,37	48,41
51	Q. La Cañada	4,75	5,57	6,27	7,32	8,22	9,21	10,32	11,98
52	Q. La Arenera	22,39	26,62	30,24	35,66	40,28	45,40	51,07	59,49

ID	Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
53	Q. La García	13,29	16,70	19,71	24,35	28,43	33,04	38,26	46,20
54	Q. La Zorrita	6,44	7,94	9,26	11,26	13,00	14,96	17,16	20,47
55	Q. La Potrera	11,42	14,08	16,41	19,97	23,07	26,57	30,51	36,47
56	Q. La Mauala	11,91	14,09	15,96	18,77	21,17	23,85	26,83	31,28
57	Q. La Manguala	45,69	54,73	62,53	74,26	84,35	95,59	108,13	126,91
58	Q. La Rafita	5,86	8,12	10,25	13,77	17,05	20,98	25,66	33,23
59	Q. La Candela	27,17	33,23	38,51	46,53	53,46	61,24	69,95	83,05
60	Q. El Rosario	13,98	19,31	24,95	34,36	43,24	53,94	66,76	87,61

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

3 AMENAZA POR INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES – ESTUDIO HIDRÁULICO

En este capítulo se presenta el análisis hidráulico de las corrientes principales que conforman la red hídrica del distrito de Medellín y que, de acuerdo con la geomorfología, cuentan con características y depósitos de avenidas torrenciales e inundaciones. En este proceso, se ha realizado la priorización de un total de 60 cuencas localizadas al interior del territorio para lo cual se desarrollan diferentes modelos hidráulicos que permitan el análisis de cada una de las corrientes. Para cada uno de estos modelos se evaluaron las condiciones hidráulicas de profundidad y velocidad de flujo generada por los eventos de inundación con un período de retorno de 100 años tal como lo recomienda el documento: Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación, IDEAM, 2017.

Por otra parte, para los eventos torrenciales se evaluaron los caudales máximos asociados a los períodos de retorno de 50, 200 y 500 años mayorados en un porcentaje con el fin de considerar un incremento en el volumen asociado a la carga por arrastre y suspensión, siguiendo los lineamientos propuestos en la Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano y la Pontificia Universidad Javeriana, (SGC, 2021). Allí se propone el uso de una matriz de clasificación eventos con base en la intensidad (función de la profundidad y velocidad de flujo) y la frecuencia (función del período de retorno) del evento. La implementación de los modelos hidráulicos bidimensionales (2D) se realizó mediante la implementación del software HEC RAS V6.7 Beta3.

La caracterización hidráulica de estos eventos permite determinar el nivel de amenaza por inundación y avenida torrencial asociada a corrientes priorizadas. Sin embargo, con el objetivo de tener un análisis multidisciplinario (o heurístico), que considere otros componentes relevantes para la caracterización de los eventos objeto de estudio, se realizó un análisis geomorfológico complementario mediante el cual fue posible identificar algunas unidades fluviales y aluviotorrenciales que, a pesar de no encontrarse identificadas en el estudio hidráulico, puedan representar cierto nivel de amenaza para el Distrito de Medellín.

Con el objetivo de realizar un análisis hidráulico ajustado a las condiciones precisas de cada tramo de interés se tuvieron en cuenta diferentes condiciones evidenciadas en registros históricos, recorridos de campo, y fotografías aéreas, entre otros. Con respecto a la escala espacial de trabajo, para el Distrito de Medellín se tuvo como base la disponibilidad de información topográfica a partir de un modelo digital del terreno desarrollado con tecnología

LIDAR y para una resolución de 1 m por 1 m, contando con una escala más precisa como cumplimiento a las escalas de trabajo definidas en el Decreto 1807 de 2014, integrado en el Decreto 1077 de 2015, para los estudios básicos de amenaza por inundación y avenidas torrenciales.

3.1 Escenarios Hidrológicos

Como se describió en el estudio hidrológico se tiene una serie de información de precipitación para diferentes escenarios hidrológicos, seleccionando el escenario más crítico que corresponde a la envolvente máxima de las intensidades estimadas para cada una de las estaciones con información de IDF.

3.2 Información Utilizada

3.2.1 Información Topográfica

La información topográfica utilizada corresponde al MDE con resolución de píxel de 1 m x 1 m el cual corresponde a información básica suministrada por el distrito de Medellín, con el cual se plantea el desarrollo de los modelos hidráulicos de las corrientes priorizadas, con una escala aproximada de 1:1.000. Cumpliendo así con los lineamientos definidos en el decreto 1807 de 2014 para la escala de trabajo. Se tiene en cuenta que, para adelantar el análisis hidráulico de estas corrientes, se utiliza el software HEC RAS en su versión 6.7 Beta 3, la cual permite analizar el comportamiento del flujo en dos dimensiones – 2D. Este tipo de modelos y su consideración física, es basada en una superficie o terreno de referencia por lo cual, no se requiere el ingreso de secciones transversales que definan la geometría del canal en cuanto al cauce, márgenes y pendiente en el lecho, toda vez que el modelo calcula el desplazamiento del agua a partir de las celdas que representan el terreno o modelo digital de elevación. En la Ilustración 46, se presenta de forma general, la información asociada a la superficie del terreno implementada dentro de la modelación hidráulica de los drenajes de interés.

El modelo digital de elevación o terreno es elaborado a partir de un levantamiento LIDAR, contando con la respectiva superficie, TIN o Malla, que se convierta a formato ráster – ASCII con una resolución definida, bastante detallada para las condiciones del canal estudio, pendiente y longitud de este. Ahora, con el fin de representar los resultados de forma gráfica y en algún sitio en particular, se generaron secciones transversales a lo largo del tramo estudiado. En la Ilustración 47, se presenta el esquema con las secciones transversales elaboradas para la representación gráfica de los niveles obtenidos en la modelación hidráulica.

Es de indicar que las secciones consisten en puntos donde se podrán revisar en detalle los resultados gráficos arrojados por el modelo 2D, y no representan la geometría específica del modelo para el desarrollo de los resultados, ya que estos se calculan a partir de la superficie o terreno. Considerando el modelo utilizado, el cual resuelve ecuaciones en 2 dimensiones – 2D,

y que desarrolla el comportamiento hidráulico de la corriente a partir de la superficie o terreno, el espaciamiento entre secciones transversales no condiciona los resultados, secciones que únicamente son utilizadas para visualizar los resultados hidráulicos del flujo a lo largo del canal, y no corresponden a la base de geometría en el modelo. Por ello, no se requiere evaluar el espaciamiento entre las secciones enfocado a la minimización de errores en los cálculos, toda vez que el modelo permite el cálculo del tránsito hidráulico en cada uno de los píxeles que componen la malla.

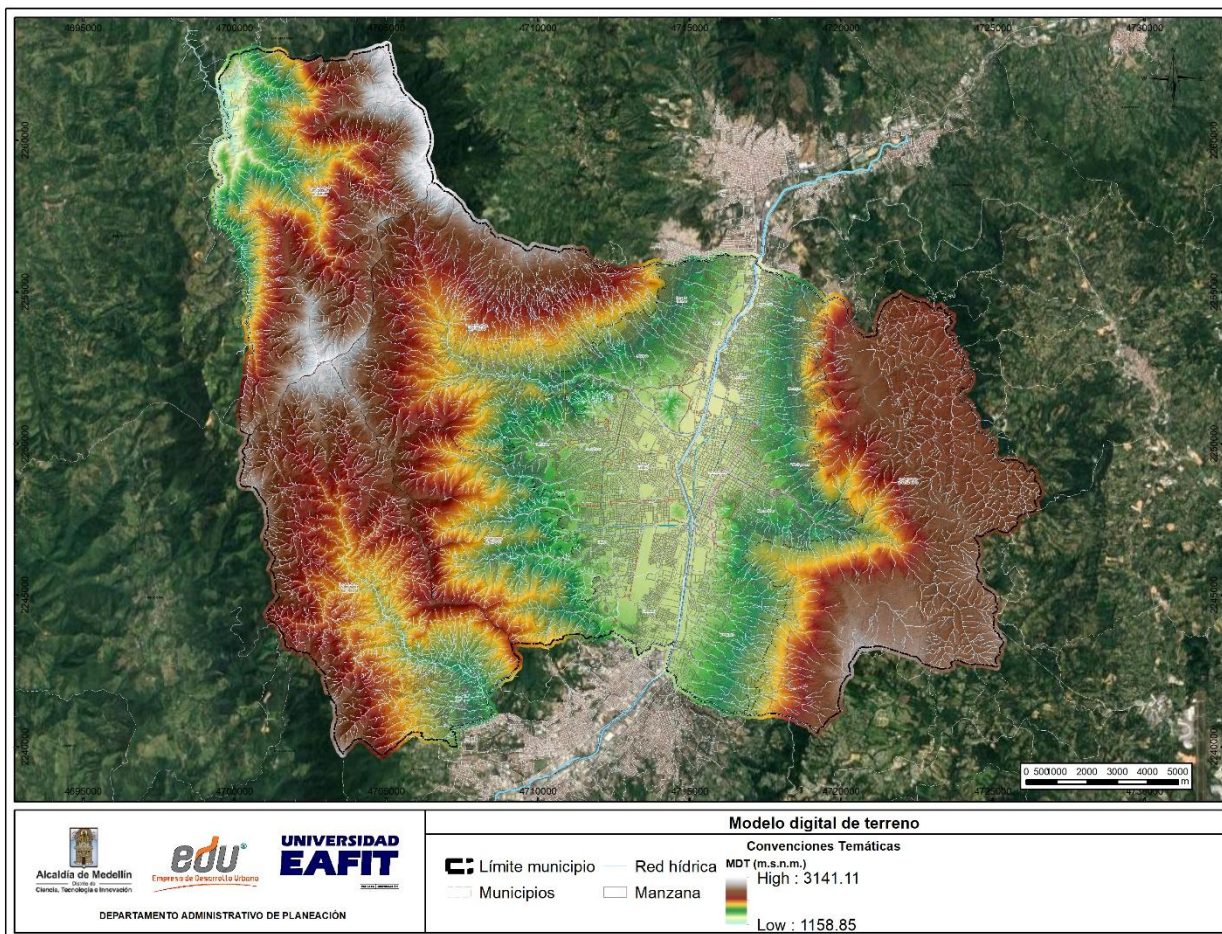


Ilustración 46. Superficie del terreno utilizada en modelación hidráulica (LIDAR 1 m x 1 m)

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Para completar la geometría del modelo hidráulico, se delimita el área 2D trazada en la totalidad del terreno disponible contando con tamaño de pixel definido previamente. Ahora, el modelo requiere establecer el tamaño de la malla que utilizará dentro de los cálculos escogiendo los valores de la malla en dx y dy. Esta información es refinada en zonas donde se requiere mayor detalle, tales como bancas, muros, obras, taludes o terrazas, entre otros, donde se utilizan líneas de quiebre o breaklines que permiten aplicar un refinamiento de la malla utilizando un dx y dy

mínimo y máximo, o mediante la herramienta de refinar región, permitiendo establecer un mayor detalle de la malla en estas áreas.

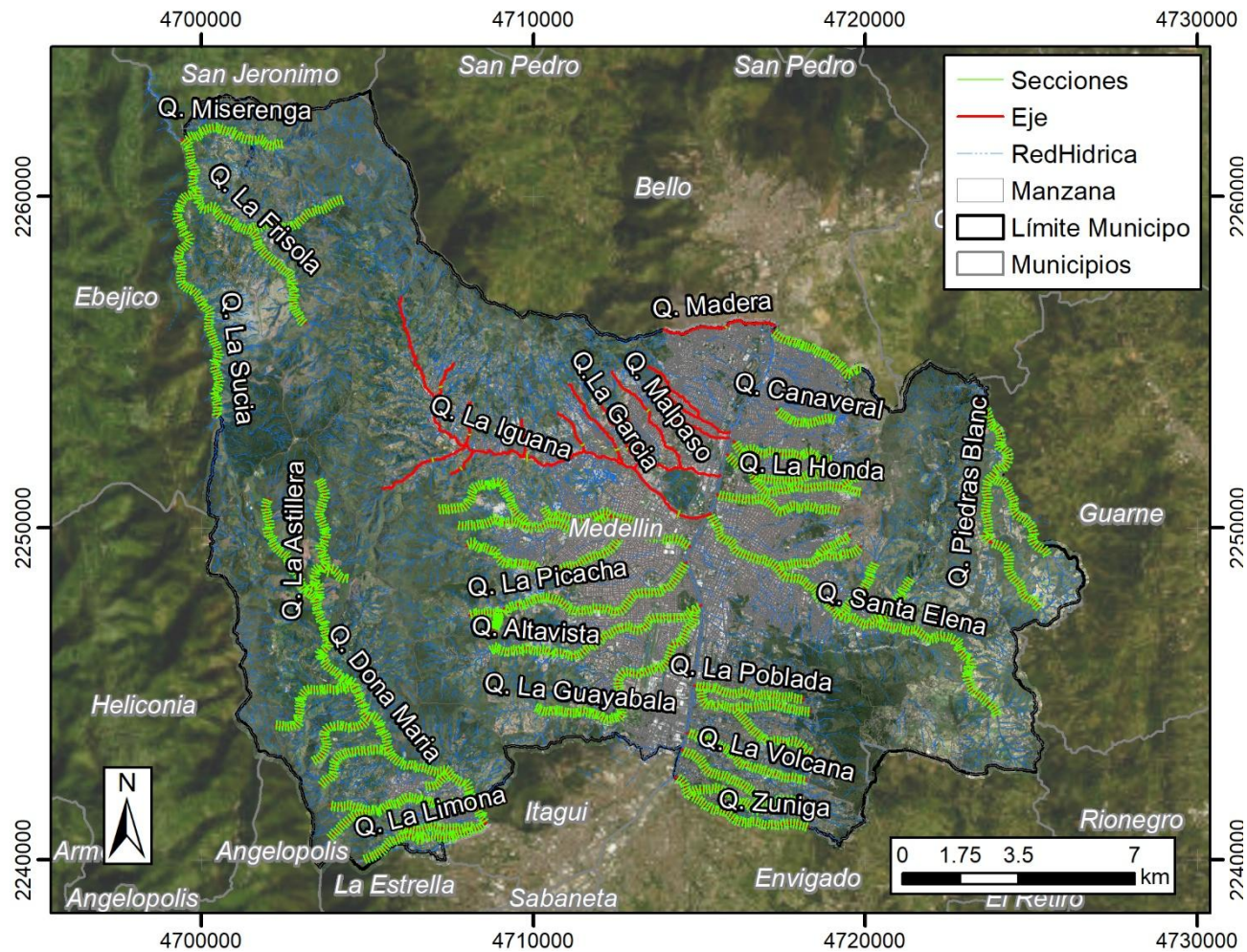


Ilustración 47. Secciones transversales en modelación hidráulica

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

En la Tabla 32, se presenta el resumen del tamaño de malla usado en la modelación hidráulica, la cual se ha definido para los diferentes modelos hidráulicos elaborados. Es importante indicar que según la distribución de los drenajes priorizados para el análisis (60 cuencas), se ha elaborado un total de 14 modelos hidráulicos, tal y como se irá describiendo a través del presente documento.

Tabla 32. Tamaño malla utilizada en el modelo 2D

ID	Corriente	Modelo	dx y dy Malla	dx y dy Refinado	N Celdas
1	Q. Santa Elena	Modelo 5	5 m	2 m	69,971
2	Q. La Picacha	Modelo 11	5 m	2 m	51,817
3	Q. La Iguana	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
4	Q. Doña Maria	Modelo 1	6 m	2 m	107,975
5	Q. La Presidenta	Modelo 4	5 m	2 m	48,740

ID	Corriente	Modelo	dx y dy Malla	dx y dy Refinado	N Celdas
6	Q. La Poblada	Modelo 4	5 m	2 m	48,740
7	Q. Ana Díaz	Modelo 10	5 m	2 m	39,634
8	Q. La Hondita	Modelo 7	5 m	2 m	30,991
9	Q. La Hueso	Modelo 9	5 m	2 m	72,935
10	Q. Potreritos	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
11	Q. La Volcana	Modelo 7	5 m	2 m	19,552
12	Q. La Seca	Modelo 7	5 m	2 m	20,543
13	Q. La Lejia	Modelo 13	5 m	2 m	95,297
14	Q. La Escopeteria	Modelo 4	5 m	2 m	48,740
15	Q. La Sucia	Modelo 13	5 m	2 m	95,297
16	Q. La Frisola	Modelo 13	5 m	2 m	95,297
17	Q. La Aguacatala	Modelo 7	5 m	2 m	20,891
18	Q. La Puerta - Borbollona	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
19	Q. El Ñato	Modelo 6	5 m	2 m	80,157
20	Q. La Astillera	Modelo 1	6 m	2 m	107,975
21	Q. Altavista	Modelo 12	5 m	2 m	87,348
22	Q. Zuñiga	Modelo 7	5 m	2 m	35,110
23	Q. El Hato - La Guayaba	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
24	Q. Canaveral - El Zancudo	Modelo 7	5 m	2 m	7,130
25	Q. La Gomez	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
26	Q. La Guayabala	Modelo 12	5 m	2 m	87,348
27	Q. El Ahorcado	Modelo 7	5 m	2 m	30,991
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	Modelo 6	5 m	2 m	80,157
29	Q. La Limona	Modelo 3	6 m	2 m	94,204
30	Q. Piedra Gorda	Modelo 8	5 m	2 m	45,902
31	Q. Piedras Blancas	Modelo 8	5 m	2 m	45,902
32	Q. Miserenga	Modelo 13	5 m	2 m	95,297
33	Q. Malpaso	Modelo 14	4 m	4 m	222,582
34	Q. La Puerta	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
35	Q. La Pelahueso	Modelo 9	5 m	2 m	72,935
36	Q. La Madera	Modelo 14	2 m	2 m	221,538
37	Q. La Castro	Modelo 6	5 m	2 m	80,157
38	Q. La Cantera Ramal Sur	Modelo 14	2 m	2 m	288,486
39	Q. La Quintana	Modelo 14	4 m	4 m	108,192
40	Q. La Chorrera - El Molino	Modelo 7	5 m	2 m	30,991
41	Q. La Paulita	Modelo 7	5 m	2 m	35,110
42	Q. La Moñonga	Modelo 14	4 m	4 m	222,582
43	Q. La Bermejala	Modelo 7	5 m	2 m	14,342
44	Q. La Leonarda	Modelo 9	5 m	2 m	72,935
45	Q. La Guayaba	Modelo 11	5 m	2 m	51,817
46	Q. La Larga	Modelo 2	5 m	2 m	70,512
47	Q. Agua Fria	Modelo 14	4 m	4 m	567,563

ID	Corriente	Modelo	dx y dy Malla	dx y dy Refinado	N Celdas
48	Q. La Despensa	Modelo 2	5 m	2 m	70,512
49	Q. La Honda	Modelo 7	5 m	2 m	30,991
50	Q. Minitas	Modelo 1	6 m	2 m	107,975
51	Q. La Cañada	Modelo 3	6 m	2 m	94,204
52	Q. La Arenera	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
53	Q. La Garcia	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
54	Q. La Zorrita	Modelo 3	6 m	2 m	94,204
55	Q. La Potrera	Modelo 14	4 m	4 m	567,563
56	Q. La Mauala	Modelo 3	6 m	2 m	94,204
57	Q. La Manguala	Modelo 3	6 m	2 m	94,204
58	Q. La Rafita	Modelo 6	5 m	2 m	80,157
59	Q. La Candela	Modelo 2	5 m	2 m	70,512
60	Q. El Rosario	Modelo 8	5 m	2 m	45,902

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

3.2.2 Información Hidrológica (Caudales de Diseño)

Los caudales de diseño corresponden a los estimados en el capítulo de hidrología, donde se muestran los resultados obtenidos luego de implementar metodologías de hidrógrafas unitarias sintéticas y el método racional, escogiendo como caudales de diseño al promedio de los caudales que se encontraban más cerca entre sí (banda de confianza centrada en la mediana con un ancho de 1 IQR). Los caudales fueron calculados para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

3.3 Diagnóstico - Evaluación Condiciones Existentes – Zona Urbana y Corregimientos

La modelación del tránsito hidráulico de caudales máximos en los diferentes drenajes localizados en el territorio del distrito de Medellín y que fueron objeto de priorización (60 cuencas), se hizo utilizando el programa HEC-RAS versión 6.7 Beta 3, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering (U.S Army Corps of Engineers, 2002a). Este análisis se adelantó para el distrito de Medellín y donde se evalúa la amenaza por inundación y avenidas torrenciales en cumplimiento con el Decreto 1807 de 2014, integrado en el Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los estudios básicos para la determinación de la amenaza.

El software requiere como datos de entrada las condiciones de borde, la geometría o terreno, el valor de rugosidad de Manning n y los caudales de diseño, solucionando a través de elementos finitos para la solución del movimiento del agua en dos dimensiones – 2D. Las profundidades de flujo también se calculan a partir del método estándar por pasos para el modelado 1D y como resultado del modelo se obtiene la superficie libre del agua asociada a una condición de caudal impuesta que puede variar a lo largo del cauce.

En primer lugar, se realiza la calibración del modelo hidráulico, la cual consiste en ajustar los diferentes parámetros de entrada al modelo y así poder realizar la evaluación de las condiciones reales de los drenajes de interés, es decir, que la situación modelada en HEC-RAS, represente las condiciones y evidencias del tránsito del flujo a través del canal de la corriente. Para ello, se realiza la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning y se evalúa el comportamiento de los caudales de diseño calculados en el estudio hidrológico y que los mismos representen el flujo de crecientes al interior del canal de la corriente.

El estudio busca analizar el comportamiento de los caudales máximos, generando la mancha de inundación para el escenario actual y evaluar la incidencia de la corriente en todo el tramo colindante con el suelo del distrito de Medellín, análisis que evalúa la amenaza por inundación y avenidas torrenciales como parte de los estudios básicos de amenaza para ser integrados en el desarrollo en el componente de ordenamiento del distrito.

Para la simulación hidráulica, se agruparon los ejes de las cuencas priorizadas en diferentes modelos, basados en los tiempos computacionales de cada uno; este tiempo se buscó optimizar una vez se contó con mallados y pasos de tiempo que lograran la estabilidad numérica, por lo cual la segmentación de los tramos de simulación obedece a una condición técnica de capacidad computacional, garantizando en lo posible que se lograran simular las condiciones de las confluencias entre cuencas subsiguientes.

Los modelos implementados comparten en su mayoría las características de simulación, tales como tamaño de celdas, pasos de tiempo, condiciones de frontera (hidrógrafas, niveles de descarga), mientras que los coeficientes de Manning se asignaron según la capa de coberturas y usos de suelo, tal y como se describe en el documento del EBA.

3.3.1 Parámetros De Entrada Modelo 2D

3.3.1.1 Coeficiente de Rugosidad

Los coeficientes de resistencia al flujo uniforme en canales de lecho rígido se encuentran tabulados en muchos libros clásicos de hidráulica (CHOW V. T., 1992). El n de Manning es muy variable y depende de un cierto número de factores, como lo es la rugosidad del material superficial, las macro rugosidades del canal, la vegetación, el alineamiento del canal y las posibles obstrucciones (CHOW V. T., 1992). A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad, Chow (CHOW V. T., 1992) desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n . Mediante este procedimiento, el valor de n puede calcularse por la expresión de Cowan (mencionado en Chow, 1994):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

donde n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse al n_0 para corregir el efecto de las rugosidades

superficiales, n_2 es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y m es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

Según las características de los canales de las quebradas de interés, este corresponde a un lecho natural con arrastre de material grueso tipo guijarros y cantos rodados con presencia de gravas y arenas para las zonas de alta montaña y donde el tamaño se reduce a lo largo de su cauce debido a la reducción de la pendiente del canal de los drenajes, que, de acuerdo a las diferentes características del tramo de interés, se escogen los valores para los parámetros que conforman el método propuesto por Cowan, mencionado en (CHOW V. T., 1992). Para este análisis, se utilizó la información de la capa de cobertura de la geodatabase del POMCA del río Aburrá 2018. Luego mediante procesamiento geográfico (Unión) realizado en el software ArcGis v. 10.8, se incorporan las coberturas terrestres suministradas por planeación para los corregimientos de San Sebastián de Palmitas y San Antonio de Prado. Finalmente, se realiza una edición de coberturas de todo el distrito, utilizando la ortofoto para el municipio de Medellín del año 2024 disponible en el servidor de mapas del Distrito, ajustando las zonas que han venido ocupándose con la categoría de tejido urbano discontinuo y continuo. El resumen de los parámetros y el cálculo del coeficiente de rugosidad se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33. Coeficientes de rugosidad n de Manning

Cobertura	n Manning
Arbustos y matorrales	0,055
Bosque denso	0,065 - 0,120
Cauce canalizado	0,015
Cauce natural alta pendiente	0,053 - 0,065
Cauce natural media pendiente	0,038 - 0,040
Cuerpos de agua superficiales	0,035
Herbazal	0,050
Mosaico de cultivos	0,040
Mosaico de pastos con EN	0,030 - 0,050
Pastos limpios	0,035 - 0,045
Plantación forestal	0,065 - 0,100
Tejido urbano continuo	0,025 - 0,075
Tejido urbano discontinuo	0,065
Vegetación secundaria	0,050
Zonas mineras y desnudas	0,035
Zonas verdes urbanas	0,045

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

El valor estimado, pudo ser verificado de acuerdo con la información disponible dentro del documento: *Roughness Characteristics of Natural Channels*, desarrollado por Harry H. Barnes,

Jr. Y para U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849, donde se presenta el cálculo del coeficiente de rugosidad n de Manning para diferentes tipos de canales naturales. Adicionalmente, se tuvieron en consideración, todas las características y condiciones definidas dentro del texto: *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*, desarrollado por George J. Arcement, Jr., y Verne R. Schneider, para el U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339, en el año 1989, en cuanto a la determinación de cada uno de los parámetros definidos en el método de Cowan.

3.3.1.2 Creación de Capas de Cobertura Terrestre, Valores n de Manning y % de Impermeabilidad

Se puede crear una capa de cobertura terrestre que varíe espacialmente en RAS Mapper y luego asociarla con un conjunto de datos de geometría específico. Una vez que se crea un conjunto de datos de cobertura terrestre, se puede especificar los valores n de Manning que se utilizarán para cada tipo de cobertura terrestre. Además, se puede crear sus propios polígonos de clasificación de cobertura terrestre (polígonos definidos), en los que puede anular las capas de cobertura terrestre base dentro de ese polígono y definir un nuevo tipo de cobertura terrestre. Los polígonos de clasificación definidos se utilizan a menudo para áreas de canales.

La creación de clasificaciones de cobertura terrestre definidas permitirá crear un buen conjunto de valores n de Manning base para estos polígonos de clasificación definidos. Se puede dibujar más de un polígono y darle el mismo nombre. Sin embargo, solo se puede establecer un valor n de Manning para cada polígono de clasificación de cobertura terrestre definido. Entonces, si los valores de n de Manning deben ser diferentes, entonces los polígonos deben tener nombres diferentes. También se pueden especificar el porcentaje de impermeabilidad para cada uno de los tipos de cobertura terrestre. El porcentaje de impermeabilidad es opcional y solo es necesario si está modelando la precipitación y la infiltración. En la Ilustración 48, se presenta la distribución de las diferentes regiones que componen las coberturas vegetales en la zona de interés, con el respectivo valor del n de Manning definidos en toda la longitud estudiada, y para la zona colindante con el territorio del distrito de Medellín, departamento de Antioquia.

3.3.1.3 Condiciones de Frontera y Condiciones Iniciales – Áreas 2D

Las condiciones de Frontera consisten en condiciones de límite externas a lo largo del perímetro del área 2D, condiciones de límite interno y condiciones de límite global (datos meteorológicos) que se aplican a todo el modelo (es decir, precipitación, viento, etc.). Hay cuatro tipos de condiciones de límite externas que se pueden vincular directamente a los límites de las áreas de flujo 2D, estos son (Hidrograma de flujo, Hidrograma de etapa, Profundidad normal, Curva de calibración).

Las condiciones de límite de profundidad normal y curva de calibración solo se pueden usar en ubicaciones donde el flujo dejará un área de flujo 2D. Las condiciones de límite del hidrograma

de flujo y de etapa se pueden utilizar para introducir o sacar flujo de un área de flujo 2D. Para un hidrograma de flujo, los valores de flujo positivo enviarán flujo a un área de flujo 2D y los valores de flujo negativos sacarán el flujo de un área 2D. Para el hidrograma de etapa, las etapas más altas que el suelo o la superficie del agua en un área de flujo 2D enviarán flujo hacia adentro, y las etapas más bajas que la superficie del agua en el área de flujo 2D enviarán flujo hacia afuera. Si una celda está seca y la condición de límite de la etapa es menor que la elevación mínima de la celda del área de flujo 2D, el flujo no se transferirá.

Hay dos tipos de condiciones de contorno interno que se pueden utilizar en HEC-RAS (Hidrograma de flujo, Precipitación). La condición de límite de precipitación se puede aplicar directamente a cualquier área de flujo 2D como una serie de tiempo de exceso de lluvia. Este método es limitante porque aplica la misma precipitación espacialmente a toda el área de flujo 2D. Las condiciones de contorno globales son condiciones de contorno que se aplican a todo el modelo. Los tipos de condiciones de contorno globales actuales son (Precipitación, Evapotranspiración, Viento). Los nuevos métodos para ingresar las condiciones de los límites del viento y la precipitación global pueden ser en forma de datos cuadrículados o datos de medición puntual. Si se utilizan datos de forma puntual, entonces la información se interpola entre estos utilizando varios métodos opcionales.

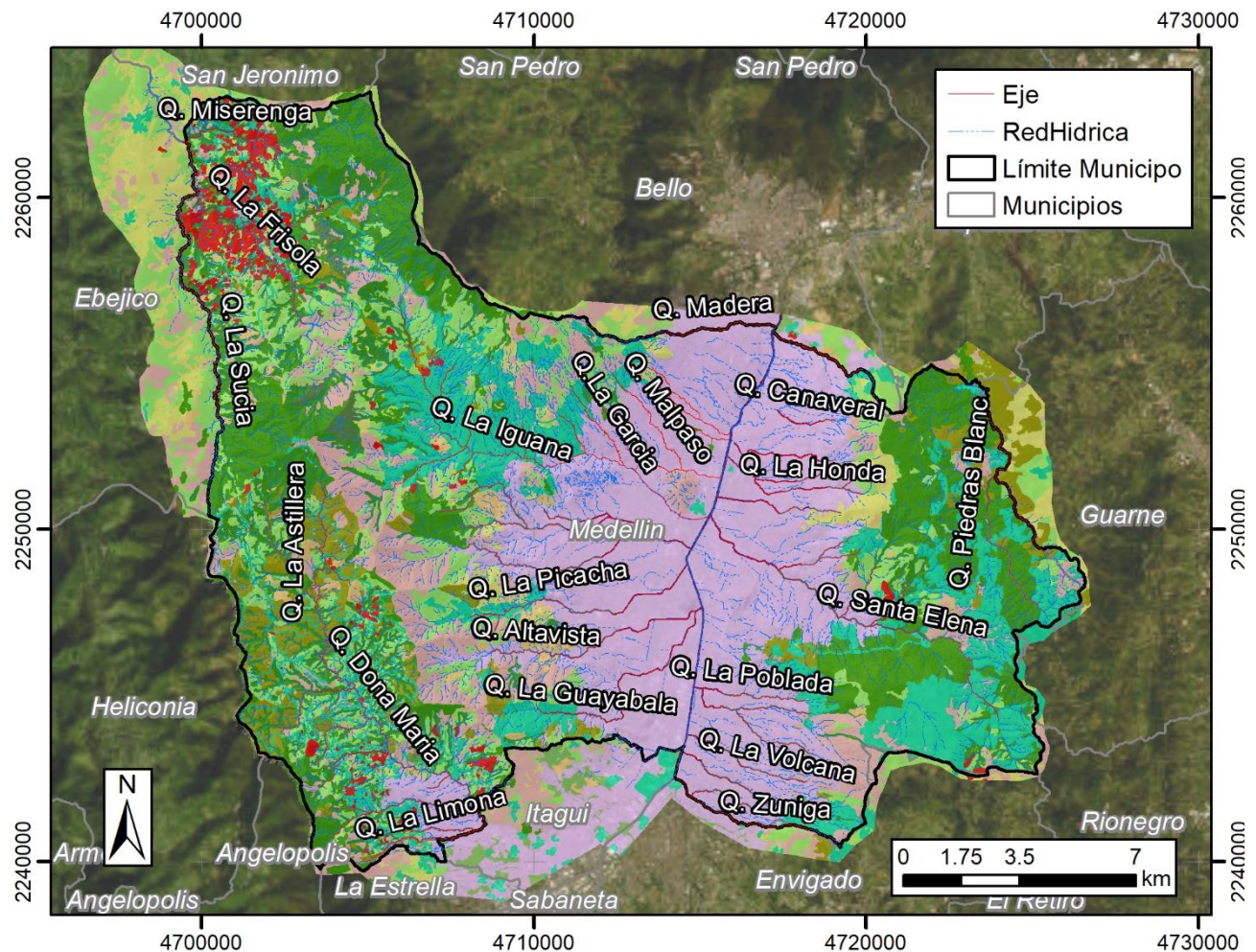


Ilustración 48. Regiones con n de Manning para el escenario evaluado

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Para realizar el cálculo hidráulico dentro del modelo HEC RAS v 6.7 Beta 3, y mediante una solución con áreas 2D, es necesario realizar la simulación de forma Unsteady Flow – Flujo no permanente, lo que conlleva a ingresar los caudales de diseño en forma de un hidrograma, donde se deberá contar con un dato de caudal y un tiempo dado, información que se amplía a continuación.

Hidrograma de flujo

Un hidrograma de flujo se usa generalmente para llevar el flujo a un área de flujo 2D; sin embargo, también se puede utilizar para extraer caudal (valores de caudal negativos). Los datos necesarios para este tipo de condición de contorno son: Hidrograma de flujo (descarga, Q, en función del tiempo), Pendiente de energía (para calcular la profundidad normal).

La pendiente de energía se utiliza para calcular una profundidad normal a partir del caudal dado y los datos de la sección transversal (datos del terreno subyacente) a lo largo de la

línea de condición de límite para cada paso de tiempo computacional. Luego se calcula una distribución de flujo en la sección transversal (basada en la superficie del agua de profundidad normal y el transporte en la sección transversal debajo de la línea de Condición de Límite 2D) y esta distribución de flujo se usa para distribuir apropiadamente el flujo a las celdas a lo largo de la condición de límite. En cualquier paso de tiempo dado, sólo una parte de la línea de condición de límite puede estar mojada, por lo que solo las celdas en las que la elevación de la superficie del agua es más alta que el terreno de la cara del límite exterior recibirá agua. Sin embargo, si la superficie del agua de profundidad normal calculada es más alta que todos los datos de elevación de la cara límite a lo largo de la línea de condición de límite, todas las celdas recibirán agua según un enfoque de ponderación de transporte.

Profundidad normal

La condición límite de profundidad normal solo se puede utilizar para sacar el flujo de un área de flujo 2D. Cuando se usa la condición de límite de profundidad normal, se requiere el ingreso de una pendiente de fricción para esa área, que también se requiere para una ubicación de sección transversal 1D. La pendiente de fricción se puede basar en la pendiente del terreno en las proximidades de la línea de condición de límite del área de flujo 2D. La Pendiente de Fricción se usa dentro de la ecuación de Manning para calcular una elevación de la superficie del agua de Profundidad Normal para cada flujo dado, basado en la sección transversal debajo de la línea de Condición de Límite 2D. Al igual que el límite del hidrograma de etapa, el límite de profundidad normal se calcula por celda.

Para el caso de estudio y relacionado con los diferentes drenajes priorizados y que se encuentran al interior del distrito de Medellín (60 cuencas), se escoge como condiciones de frontera externas, la entrada de un hidrograma justo en el sitio donde el flujo ingresa en la superficie o área 2D, y profundidad normal en la zona de salida del flujo, es decir, en la zona aguas abajo del área 2D, análisis que se hace en conjunto con el posible control del flujo a ejercer por parte del río Medellín para una creciente asociada a un periodo de retorno de 10 años.

El presente estudio, busca evaluar el comportamiento de los caudales máximos en el sistema fluvial, con mayor enfoque para la respuesta de la corriente ante el caudal con periodo de retorno de 100 años para el análisis de amenaza por inundación y 500 años más sedimentos como escenario extremo para avenidas torrenciales, en cumplimiento con el Decreto 1807 de 2014, integrado en el Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los estudios básicos para la determinación de la amenaza. El software HEC RAS v 6.7 Beta 3 en su módulo bidimensional 2D, requiere el ingreso de un hidrograma de creciente que permita analizar la respuesta hidráulica al ingresar cada uno de los caudales en el sistema. Para generar los escenarios de modelación necesarios en el modelo hidráulico, es común el uso de Hidrogramas unitarios implementando la metodología de

hidrogramas unitarios triangulares, conociendo el valor del caudal máximo de cada periodo de retorno asociado.

Para el análisis mostrado en este documento se cuenta con la evaluación de un sistema fluvial conformado por un drenaje principal y diferentes tributarios o afluentes. Partiendo de esta consideración, se ha optado por utilizar hidrogramas de caudal constante correspondiente al caudal pico de análisis y a lo largo de un tiempo determinado, ya que si se implementan hidrogramas triangulares en los cuales se tiene un caudal inicial y un caudal final igual a cero con la localización del pico en cierto tiempo de este, es posible que al momento de presentarse la simulación hidráulica el tramo aguas abajo de cada confluencia, no corresponda a la evaluación del pico en ambos drenajes, situación que se puede presentar por el desfase del tiempo al pico en ambos elementos. Ahora, si se realiza la simulación hidráulica ingresando un hidrograma constante con el caudal pico en cada elemento a lo largo del tiempo evaluado, se garantiza que en todo momento y en especial para el tramo aguas debajo de cada confluencia, se presente la tributación entre ambos elementos y la agregación del máximo caudal como aporte del sistema fluvial.

Otro análisis realizado consistió en definir el tiempo mínimo de simulación en el sistema fluvial, el cual consiste en determinar la duración de recorrido del flujo entre la entrada al sistema – superficie y la salida de este, análisis que depende de la longitud de estudio en los diferentes drenajes y de la velocidad promedio del flujo en su recorrido. Partiendo de esta información, se hace la construcción de hidrogramas de creciente de forma constante en cada elemento, para así evaluar su recorrido por toda la superficie de análisis.

Al ingresar los hidrogramas en cada una de las condiciones de borde en la zona aferente al territorio del distrito de Medellín, es necesario agregar adicionalmente la pendiente de la línea de energía, la cual se considera similar a la pendiente del fondo del terreno. Como condición de borde final, se ingresa la profundidad normal en el tramo aguas abajo, para lo cual es necesario contar con la pendiente de la línea de energía, la cual se iguala a la pendiente del fondo del canal en ese tramo. En síntesis, como condición de borde se utiliza el ingreso del hidrograma de creciente para el tramo aguas arriba de cada drenaje y una profundidad normal en el tramo aguas abajo, para lo cual se requiere utilizar la pendiente como se indicó previamente, incluyendo un análisis adicional que puede utilizar el control ejercido por el río Medellín para un caudal máximo de creciente de 10 años. Las condiciones de borde se indican en la Tabla 34.

Tabla 34. Condiciones de borde en los diferentes modelos elaborados.

ID	Corriente	Modelo	Longitud	Pendiente (m/m)	
			(m)	A. Arriba	A. Abajo
1	Q. Santa Elena	Modelo 5	13029,13	0,01469	0,01117
2	Q. La Picacha	Modelo 11	8279,99	0,09125	0,04067
3	Q. La Iguana	Modelo 14	15065,82	0,17000	TR10 Medellín
4	Q. Doña María	Modelo 1	16388,92	0,17820	0,33448
5	Q. La Presidenta	Modelo 4	4169,57	0,25659	0,01315

ID	Corriente	Modelo	Longitud	Pendiente (m/m)	
			(m)	A. Arriba	A. Abajo
6	Q. La Poblada	Modelo 4	3687,44	0,16984	0,25405
7	Q. Ana Diaz	Modelo 10	6783,43	0,09935	0,02730
8	Q. La Hondita	Modelo 7	1063,40	0,34501	0,38308
9	Q. La Hueso	Modelo 9	8034,67	0,27278	0,00883
10	Q. Potreritos	Modelo 14	1099,93	0,27000	Confluencia
11	Q. La Volcana	Modelo 7	4372,78	0,28379	0,03840
12	Q. La Seca	Modelo 7	5144,98	0,46780	0,06810
13	Q. La Lejia	Modelo 13	3433,64	0,21674	0,34439
14	Q. La Escopeteria	Modelo 4	3165,87	0,22710	0,26816
15	Q. La Sucia	Modelo 13	11224,70	0,08923	0,04958
16	Q. La Frisola	Modelo 13	6779,48	0,07279	0,09578
17	Q. La Aguacatala	Modelo 7	4710,02	0,21131	0,06766
18	Q. La Puerta - Borbollona	Modelo 14	1691,15	0,16000	Confluencia
19	Q. El Ñato	Modelo 6	2216,85	0,22729	0,09309
20	Q. La Astillera	Modelo 1	5304,67	0,28753	0,01518
21	Q. Altavista	Modelo 12	7806,06	0,06800	0,08196
22	Q. Zuñiga	Modelo 7	4859,77	0,34324	0,22118
23	Q. El Hato - La Guayaba	Modelo 14	1691,15	0,24000	Confluencia
24	Q. Canaveral - El Zancudo	Modelo 7	2212,69	0,27457	0,27398
25	Q. La Gomez	Modelo 14	2557,48	0,20000	Confluencia
26	Q. La Guayabala	Modelo 12	8321,26	0,11634	0,10852
27	Q. El Ahorcado	Modelo 7	4251,92	0,52653	0,02450
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	Modelo 6	2773,30	0,20199	0,20162
29	Q. La Limona	Modelo 3	4608,94	0,33116	0,08515
30	Q. Piedra Gorda	Modelo 8	2829,70	0,00630	0,00924
31	Q. Piedras Blancas	Modelo 8	5779,89	0,01583	0,02569
32	Q. Miserenga	Modelo 13	3626,40	0,32335	0,19417
33	Q. Malpaso	Modelo 14	5529,25	0,27000	TR10 Medellín
34	Q. La Puerta	Modelo 14	1452,64	0,16000	Confluencia
35	Q. La Pelahueso	Modelo 9	2406,22	0,03054	0,00740
36	Q. La Madera	Modelo 14	3873,09	0,13000	TR10 Medellín
37	Q. La Castro	Modelo 6	2355,99	0,10221	0,08577
38	Q. La Cantera Ramal Sur	Modelo 14	3025,74	0,16000	TR10 Medellín
39	Q. La Quintana	Modelo 14	3201,50	0,17000	TR10 Medellín
40	Q. La Chorrera - El Molino	Modelo 7	3713,22	0,29338	0,04236
41	Q. La Paulita	Modelo 7	2721,21	0,08373	0,04245
42	Q. La Moñonga	Modelo 14	3253,11	0,24000	Confluencia
43	Q. La Bermejala	Modelo 7	3702,43	0,37917	0,01162
44	Q. La Leonarda	Modelo 9	4660,55	0,37987	0,05364
45	Q. La Guayaba	Modelo 11	522,73	0,46493	0,40344
46	Q. La Larga	Modelo 2	3944,01	0,07765	0,08550
47	Q. Agua Fria	Modelo 14	1546,07	0,29000	Confluencia
48	Q. La Despensa	Modelo 2	2940,15	0,16183	0,10995
49	Q. La Honda	Modelo 7	3847,67	0,31720	0,06365
50	Q. Minitas	Modelo 1	1151,09	0,10035	0,14971
51	Q. La Cañada	Modelo 3	912,96	0,15414	0,07051
52	Q. La Arenera	Modelo 14	3270,56	0,15000	Confluencia
53	Q. La Garcia	Modelo 14	3261,74	0,20000	Confluencia

ID	Corriente	Modelo	Longitud	Pendiente (m/m)	
			(m)	A. Arriba	A. Abajo
54	Q. La Zorrita	Modelo 3	1342,40	0,64216	0,21797
55	Q. La Potrera	Modelo 14	1099,93	0,27000	Confluencia
56	Q. La Mauala	Modelo 3	2691,82	0,21432	0,07123
57	Q. La Manguala	Modelo 3	5820,11	0,36617	0,09748
58	Q. La Rafita	Modelo 6	1452,10	0,13406	0,52748
59	Q. La Candela	Modelo 2	2820,18	0,67491	0,06420
60	Q. El Rosario	Modelo 8	3448,47	0,01788	0,07327

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Si bien las pendientes en algunas zonas de las áreas 2D pueden encontrarse por encima del 10%, se realiza una adecuada verificación de los resultados dados por el modelo mediante un proceso de calibración, analizando los niveles arrojados para los caudales de diseño, y que estos representen las condiciones reales en las corrientes.

3.3.1.4 Método de Simulación y Tiempo Computacional

HEC-RAS tiene la capacidad de realizar análisis de flujo inestable bidimensional con las ecuaciones de aguas poco profundas (SWE) o las ecuaciones de onda de difusión (DWE). HEC-RAS tiene tres conjuntos de ecuaciones que se pueden usar para resolver el flujo que se mueve sobre la malla computacional, las ecuaciones de onda de difusión; las ecuaciones originales de aguas poco profundas (SWE-ELM, que significa ecuaciones de aguas poco profundas, método euleriano-lagrangiano); y una nueva solución de ecuaciones de aguas poco profundas que es más conservadora en el momento (SWE-EM, que significa ecuaciones de aguas poco profundas, método euleriano). El SWE también tiene opciones para modelar turbulencias y efectos Coriolis.

Teniendo en cuenta que se realizará la modelación utilizando las ecuaciones de onda de difusión (DWE), se determina el valor del intervalo de tiempo, contando con un valor de tamaño de malla de entre 2,0 m y 6,0 m con una velocidad máxima promedio de 9,0 m/s. Esto permite asumir el tiempo de simulación hidráulica y el respectivo paso de tiempo. Adicionalmente, el programa permite definir el máximo y mínimo valor de Courant C considerando el tiempo a utilizar como base en la computación, esto con el fin de mejorar los resultados para corrientes de alta pendiente, y por ello, se define un valor máximo y mínimo de 2,0 y 0,8, permitiendo optimizar el paso de tiempo de forma automatizada dentro del modelo. El resumen de la información utilizada en la generación de los modelos hidráulicos es mostrado en la Tabla 35.

Tabla 35. Paso de tiempo utilizado en los modelos hidráulicos.

ID	Corriente	Modelo	Tiempo	Paso T	Courant
			(horas)	(segundos)	(adm)
1	Q. Santa Elena	Modelo 5	1,00	0,50	0,8 - 2,0
2	Q. La Picacha	Modelo 11	1,00	0,50	0,8 - 2,0
3	Q. La Iguana	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
4	Q. Doña María	Modelo 1	1,00	0,50	0,8 - 2,0
5	Q. La Presidenta	Modelo 4	1,00	0,50	0,8 - 2,0

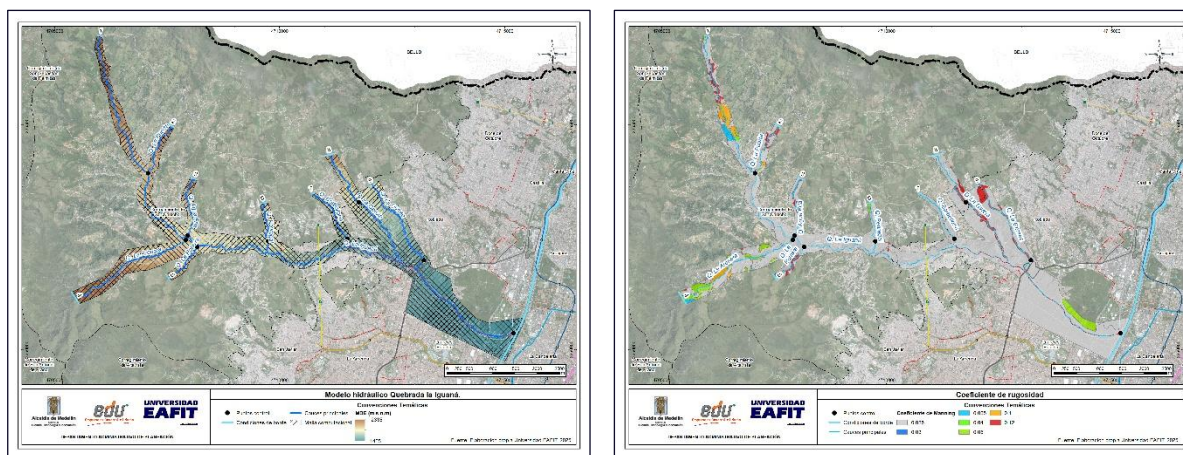
ID	Corriente	Modelo	Tiempo	Paso T	Courant
			(horas)	(segundos)	(adm)
6	Q. La Poblada	Modelo 4	1,00	0,50	0,8 - 2,0
7	Q. Ana Diaz	Modelo 10	1,00	0,50	0,8 - 2,0
8	Q. La Hondita	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
9	Q. La Hueso	Modelo 9	1,00	0,50	0,8 - 2,0
10	Q. Potreritos	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
11	Q. La Volcana	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
12	Q. La Seca	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
13	Q. La Lejia	Modelo 13	1,00	0,50	0,8 - 2,0
14	Q. La Escopeteria	Modelo 4	1,00	0,50	0,8 - 2,0
15	Q. La Sucia	Modelo 13	1,00	0,50	0,8 - 2,0
16	Q. La Frisola	Modelo 13	1,00	0,50	0,8 - 2,0
17	Q. La Aguacatala	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
18	Q. La Puerta - Borbollona	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
19	Q. El Ñato	Modelo 6	1,00	0,50	0,8 - 2,0
20	Q. La Astillera	Modelo 1	1,00	0,50	0,8 - 2,0
21	Q. Altavista	Modelo 12	1,00	0,50	0,8 - 2,0
22	Q. Zuñiga	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
23	Q. El Hato - La Guayaba	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
24	Q. Canaveral - El Zancudo	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
25	Q. La Gomez	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
26	Q. La Guayabala	Modelo 12	1,00	0,50	0,8 - 2,0
27	Q. El Ahorcado	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
28	Q. la Rafita - Chorro Hondo	Modelo 6	1,00	0,50	0,8 - 2,0
29	Q. La Limona	Modelo 3	1,00	0,50	0,8 - 2,0
30	Q. Piedra Gorda	Modelo 8	1,00	0,50	0,8 - 2,0
31	Q. Piedras Blancas	Modelo 8	1,00	0,50	0,8 - 2,0
32	Q. Miserenga	Modelo 13	1,00	0,50	0,8 - 2,0
33	Q. Malpaso	Modelo 14	0,50	0,50	0,8 - 2,0
34	Q. La Puerta	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
35	Q. La Pelahueso	Modelo 9	1,00	0,50	0,8 - 2,0
36	Q. La Madera	Modelo 14	0,50	0,20	0,8 - 2,0
37	Q. La Castro	Modelo 6	1,00	0,50	0,8 - 2,0
38	Q. La Cantera Ramal Sur	Modelo 14	0,50	0,20	0,8 - 2,0
39	Q. La Quintana	Modelo 14	0,50	0,50	0,8 - 2,0
40	Q. La Chorrera - El Molino	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
41	Q. La Paulita	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
42	Q. La Moñonga	Modelo 14	0,50	0,50	0,8 - 2,0
43	Q. La Bermejala	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
44	Q. La Leonarda	Modelo 9	1,00	0,50	0,8 - 2,0
45	Q. La Guayaba	Modelo 11	1,00	0,50	0,8 - 2,0
46	Q. La Larga	Modelo 2	1,00	0,50	0,8 - 2,0
47	Q. Agua Fria	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
48	Q. La Despensa	Modelo 2	1,00	0,50	0,8 - 2,0
49	Q. La Honda	Modelo 7	1,00	0,50	0,8 - 2,0
50	Q. Minitas	Modelo 1	1,00	0,50	0,8 - 2,0
51	Q. La Cañada	Modelo 3	1,00	0,50	0,8 - 2,0
52	Q. La Arenera	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
53	Q. La Garcia	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0

ID	Corriente	Modelo	Tiempo	Paso T	Courant
			(horas)	(segundos)	(adm)
54	Q. La Zorrita	Modelo 3	1,00	0,50	0,8 - 2,0
55	Q. La Potrera	Modelo 14	1,00	0,50	0,8 - 2,0
56	Q. La Mauala	Modelo 3	1,00	0,50	0,8 - 2,0
57	Q. La Manguala	Modelo 3	1,00	0,50	0,8 - 2,0
58	Q. La Rafita	Modelo 6	1,00	0,50	0,8 - 2,0
59	Q. La Candela	Modelo 2	1,00	0,50	0,8 - 2,0
60	Q. El Rosario	Modelo 8	1,00	0,50	0,8 - 2,0

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

3.3.2 Visualización de la geometría

Con base en la información topográfica y fotografías aéreas se realiza la delimitación del área a modelar o región de estudio. Su extensión se definió con base en la calidad de la información topográfica, específicamente la identificación de zonas de iniciación de cauce a partir de las cuales es posible definir el inicio de la modelación hidráulica de los cauces. En la Ilustración 49 a Ilustración 55, se presentan varios de los modelos hidráulicos implementados en el análisis hidráulico del sistema fluvial que drena en el territorio del distrito de Medellín, específicamente para las cuencas prioritizadas (60 cuencas).

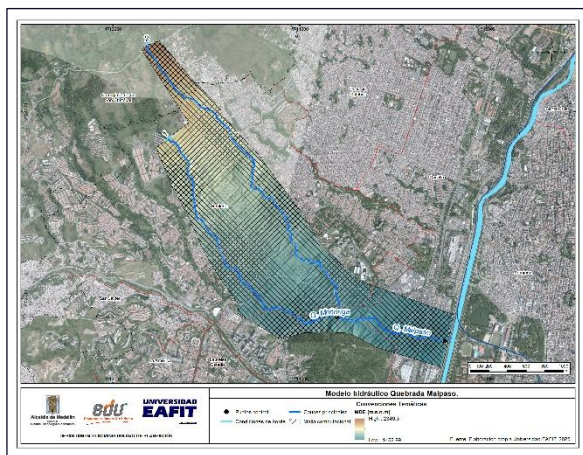


Geometría

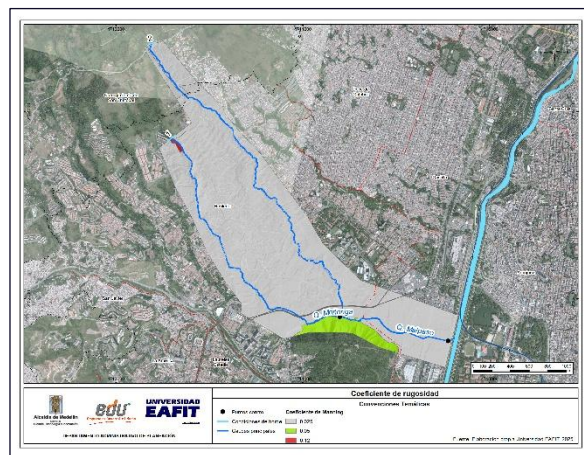
Coeficientes de Rugosidad

Ilustración 49. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Iguaña

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



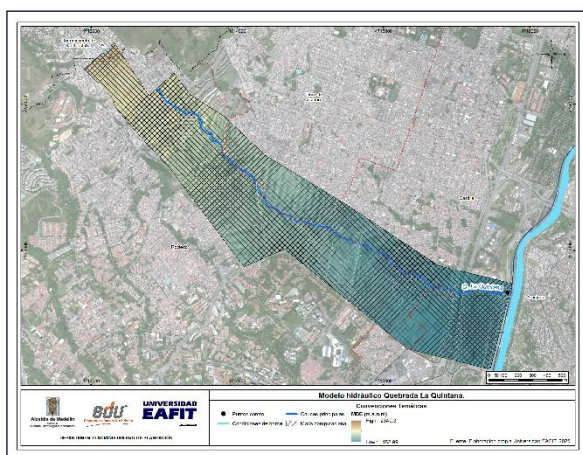
Geometría



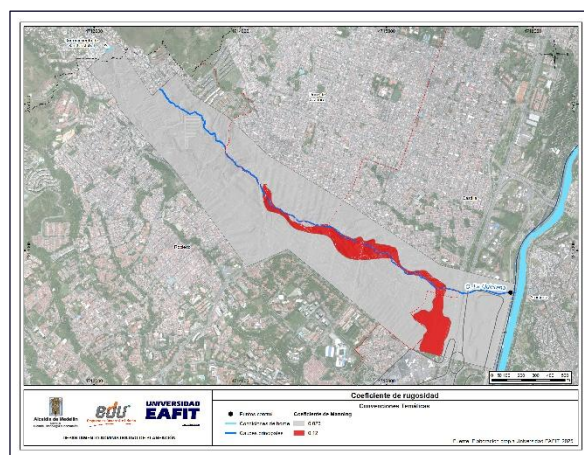
Coeficientes de Rugosidad

Ilustración 50. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada Malpaso

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



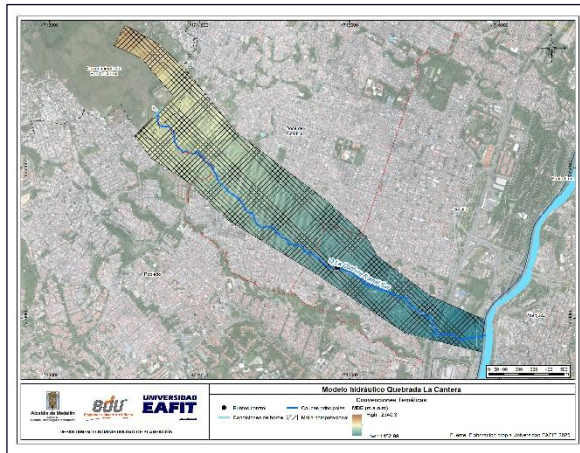
Geometría



Coeficientes de Rugosidad

Ilustración 51. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Quintana

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



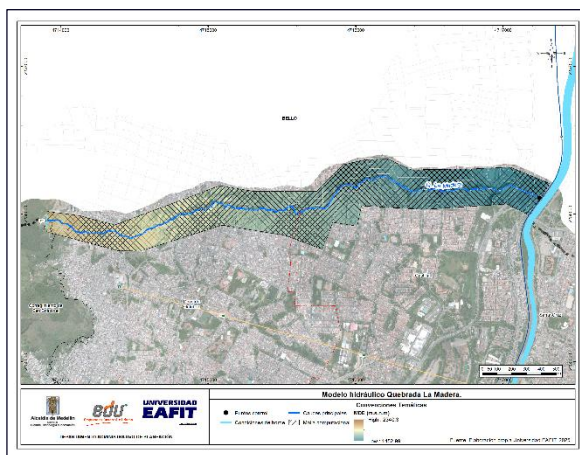
Geometría



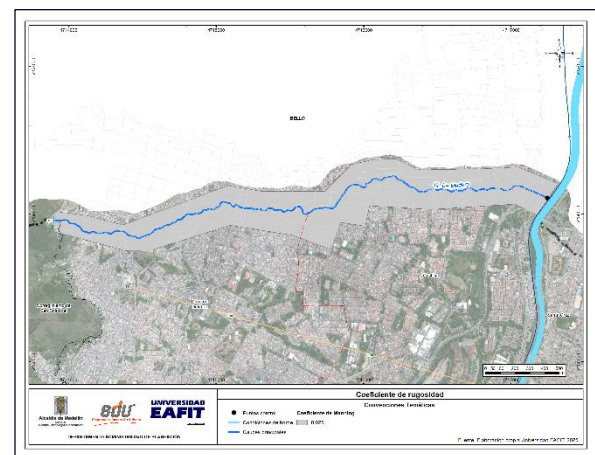
Coeficientes de Rugosidad

Ilustración 52. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Cantera (Ramal Sur)

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



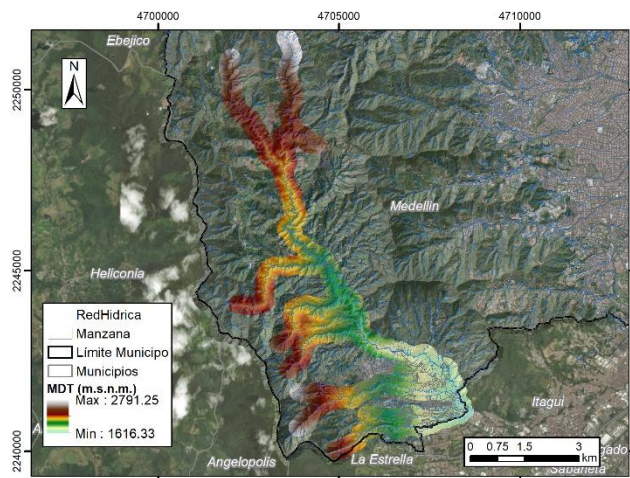
Geometría



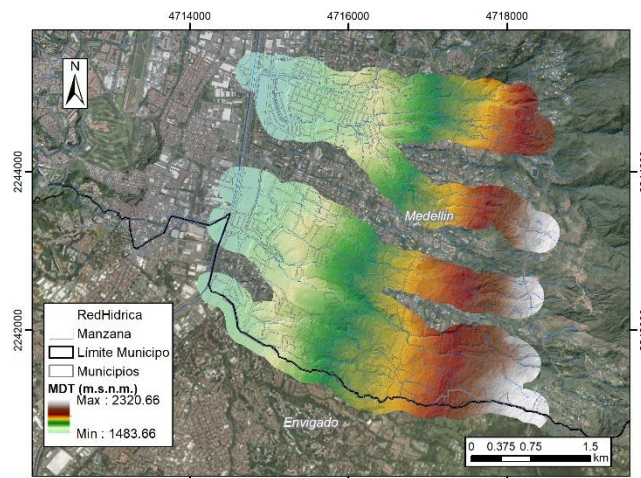
Coeficientes de Rugosidad

Ilustración 53. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para la Quebrada La Madera

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



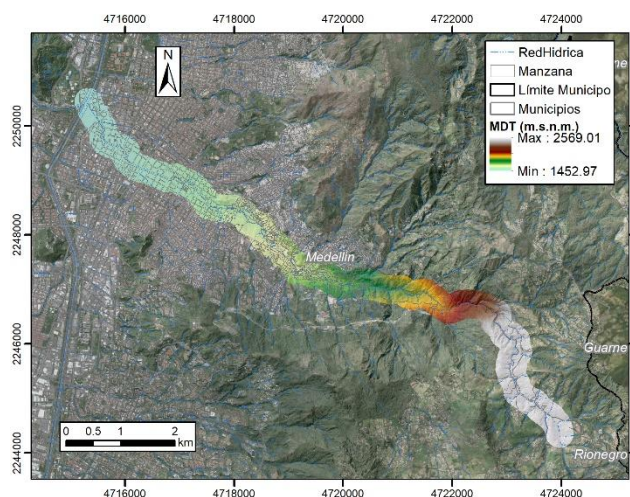
Geometría Q. Doña María



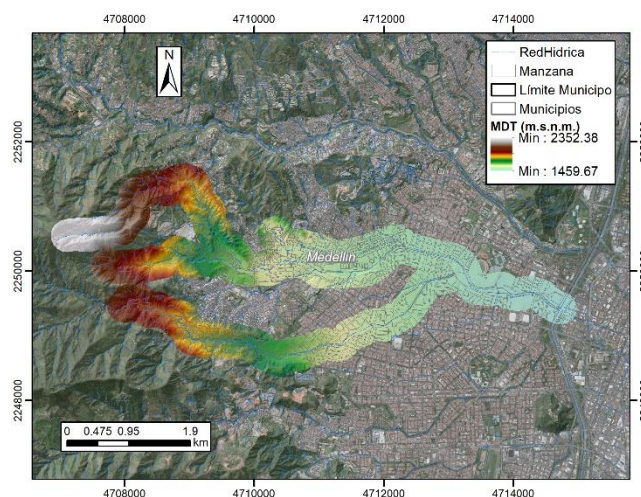
Geometría Q. La Presidenta

Ilustración 54. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para Q. Doña María y La Presidenta

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



Geometría Q. Santa Elena



Geometría Q. La Hueso y Afluentes

Ilustración 55. Modelo Hidráulico Bidimensional implementado para Q. Santa Elena y La Hueso

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

3.3.3 Resultados

Luego de tener los datos e información relacionada para la simulación hidráulica en el HEC-RAS (rugosidad, caudal de diseño, condiciones de frontera y geometría), se analizó el comportamiento hidráulico de los diferentes drenajes localizados en el territorio del distrito de Medellín y que fueron objeto de priorización (60 cuencas), y así determinar los principales cambios entre las variables hidráulicas para los diferentes caudales analizados, incluyendo la quebrada La Chorrera que hace parte de la cuenca de la quebrada La Sucia, vertiente que hace parte del río Cauca. Se contó con los caudales máximos para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años y estos mayorados en 40%, así como sus respectivos hidrogramas, en

el presente documento se muestran los niveles alcanzados por el caudal con periodo de retorno de 100 años y 500 + 40% sedimentos en el instante del pico, y así evaluar el paso de la máxima creciente en todo el tramo de interés, información de relevancia en la evaluación de la amenaza por inundación y avenida torrencial. Como anexo al presente documento, se aporta de forma digital todos los archivos que componen el modelo bidimensional – 2D para los diferentes hidrogramas de estudio. De ser necesario, se podrá evaluar el comportamiento de los caudales pico en para cada uno de los escenarios descritos previamente.

El presente estudio tiene como objeto la generación de los campos de profundidad y velocidad para los caudales con diferentes periodos de retorno, información base en la zonificación de la amenaza por inundación y avenida torrencial, definición que será presentada dentro de capítulos posteriores. Es de destacar que a partir del modelo 2D, el nivel del agua en la sección transversal puede contar con diferentes profundidades y que es la representación del paso de la masa de agua a través de las diferentes celdas. Dentro del modelo bidimensional, se cuenta con la capacidad de representar el tránsito hidráulico del flujo sobre las llanuras de inundación y sobre el canal natural, incluyendo además la determinación de sobre elevación del agua en las curvas, lo cual se aprecia claramente en las diferencias de altura a lo ancho de la sección transversal. Es de indicar que teniendo en cuenta que el análisis se hace bajo una evaluación en dos dimensiones – 2D del sistema fluvial, el modelo HEC RAS no genera resultados tabulares ya que no se cuenta con resultados y cálculos para secciones transversales, cálculos que se realizan celda a celda a través de toda el área 2D que compone el modelo hidráulico. Es de recordar que el cálculo de las variables hidráulicas se hace a partir de una superficie o terreno el cual se compone de celdas, y no en función de secciones transversales.

Con el aplicativo RasMapper que complementa el software HEC RAS v 6.7 Beta 3, se realizó la generación de los campos de profundidad y velocidad en toda la ventana de la simulación hidráulica, con especial interés en el instante donde se presenta el valor pico a través de todo el tramo de estudio. Esta información fue elaborada a partir de la superficie obtenida del levantamiento topográfico y que cuenta con un área suficiente para abarcar toda la extensión de la mancha de inundación. En la Ilustración 56 a Ilustración 61, se presenta el campo de profundidad y velocidad para los caudales con periodo de retorno de 100 años el cual es implementado dentro de la zonificación de la amenaza por inundación y para 500 años incrementado en 40% como límite superior en la zonificación de la amenaza por avenida torrencial, de acuerdo a las metodologías de zonificación de la amenaza que serán mostradas en capítulos posteriores.

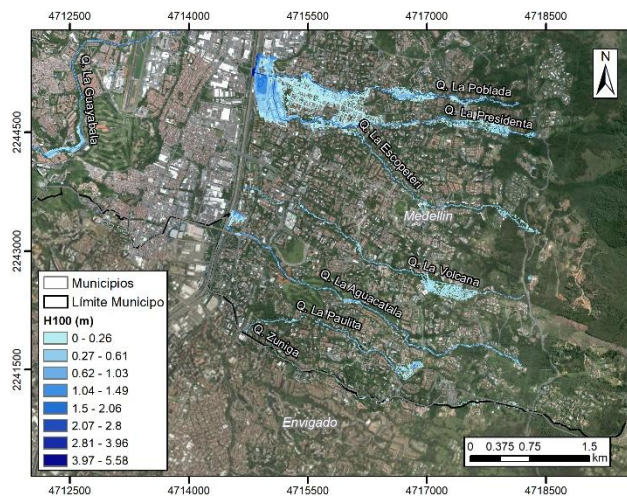
Tal como se ha mencionado en el presente capítulo, el objeto del presente estudio es la generación de los campos de profundidad y velocidad para cada uno de los caudales requeridos dentro del proceso de zonificación de la amenaza por inundación y avenidas torrenciales, por lo cual, se aporta dicha información dentro del Anexo en el componente de hidráulica y como

resultado de cada uno de los modelos hidráulicos implementados. Se podrá realizar la verificación de los componentes que conforman los diferentes modelos mediante los archivos que hacen parte del modelo hidráulico realizado en el software HEC-RAS. Dentro de dicha información, se encuentra el terreno elaborado para la creación del área 2D, así como los perfiles o secciones transversales, uso del suelo o coeficiente de rugosidad de Manning, incluyendo todos los archivos que hacen parte del RAS Mapper que, en definitiva, consiste en el aplicativo que permite la visualización de todos los resultados del modelo.

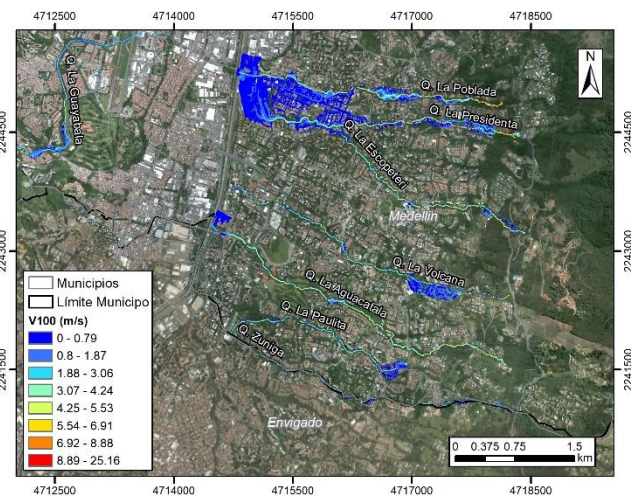
Es importante tener en consideración que la base geométrica implementada para el desarrollo de los estudios básicos de amenaza por inundación y avenidas torrenciales en el Distrito de Medellín correspondió a la imagen LIDAR elaborada y suministrada por el distrito con resolución de 1x1 m, donde se pudo contar con información parcial de los elementos estructurantes como vías, canales, entre otros aspectos. En cuanto a obras hidráulicas tales como puentes, box culvert, o similares, estas son representadas dentro de la imagen LIDAR en función de las vías o asentamientos localizados sobre ellas, sin conocer el detalle específico de las secciones transversales y para lo cual, dichas obras se reflejan como una obstrucción causada por el dique o conformación del terreno sobre las estructuras. Es por ello que, dentro de los análisis, se realizó la corrección con la finalidad de permitir el paso y continuidad del flujo a lo largo de los canales de análisis, y evitar la presencia de obstrucciones por dichas estructuras, elementos que pueden generar el desbordamiento del agua por el control e incremento del nivel hasta la cota superior de cada uno de estos sitios. Esta continuidad se realizó extrapolando la geometría de entrada y salida de la obra hidráulica, bajo suposiciones de transiciones lineales y pendientes uniformes, limitaciones descritas en el documento.

Dando cumplimiento a los lineamientos definidos dentro del Decreto 1077 de 2015 en cuanto al desarrollo de estudios básicos de amenaza por inundación y avenidas torrenciales, no es de estricto cumplimiento la modelación de obras hidráulicas, teniendo en cuenta la escala de trabajo para el desarrollo de estos estudios, donde la escala de precisión para la cartografía básica del Distrito de Medellín en suelo urbano es de 1:2.000 y para suelo rural de 1:5.000, como cartografía de mayor precisión y donde una estructura de cruce, corresponde a información asociada a escala de detalle y que no corresponde al objeto de los estudios desarrollados. Por tal razón, realizar el ajuste en la imagen LIDAR con resolución de 1x1 m, mediante la continuidad de los canales a través de obras de paso tipo box culvert o puentes, corresponde a un procedimiento adecuado.

La representación del comportamiento hidráulico de las fuentes de interés tiene como base la información de obras hidráulicas y esto corresponde a un análisis de detalle (estudio de detalle de amenaza por inundación y avenidas torrenciales) el cual no es objeto de los estudios básicos desarrollados. A pesar de lo anterior y teniendo como base la disponibilidad de información, se realizó la integración de obras hidráulicas, tales como la cobertura de la quebrada Santa Elena, Malpaso, entre otras, donde el Distrito de Medellín contó con información de estudios previos y con disponibilidad de detalles topográficos que permitieron el análisis de dichas obras dentro de los diferentes modelos hidráulicos elaborados.



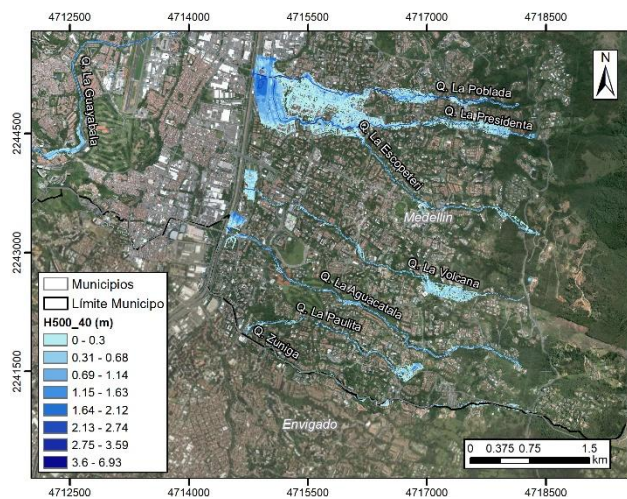
Profundidad TR100 Q. La Presidenta



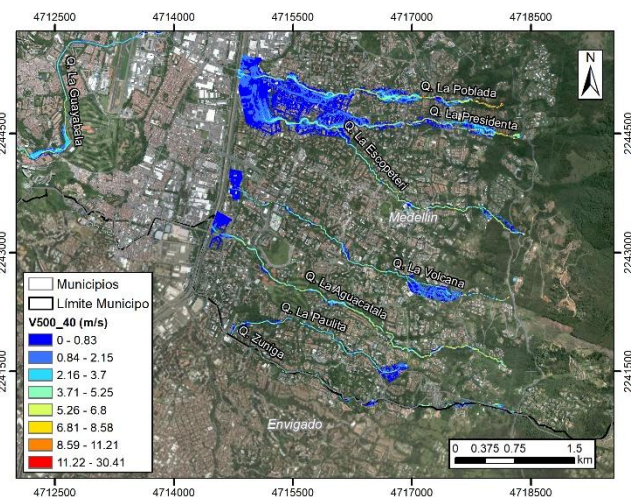
Velocidad TR100 Q. La Presidenta

Ilustración 56. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada La Presidenta

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



Profundidad TR500+40 Q. La Presidenta



Velocidad TR500+40 Q. La Presidenta

Ilustración 57. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada La Presidenta

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

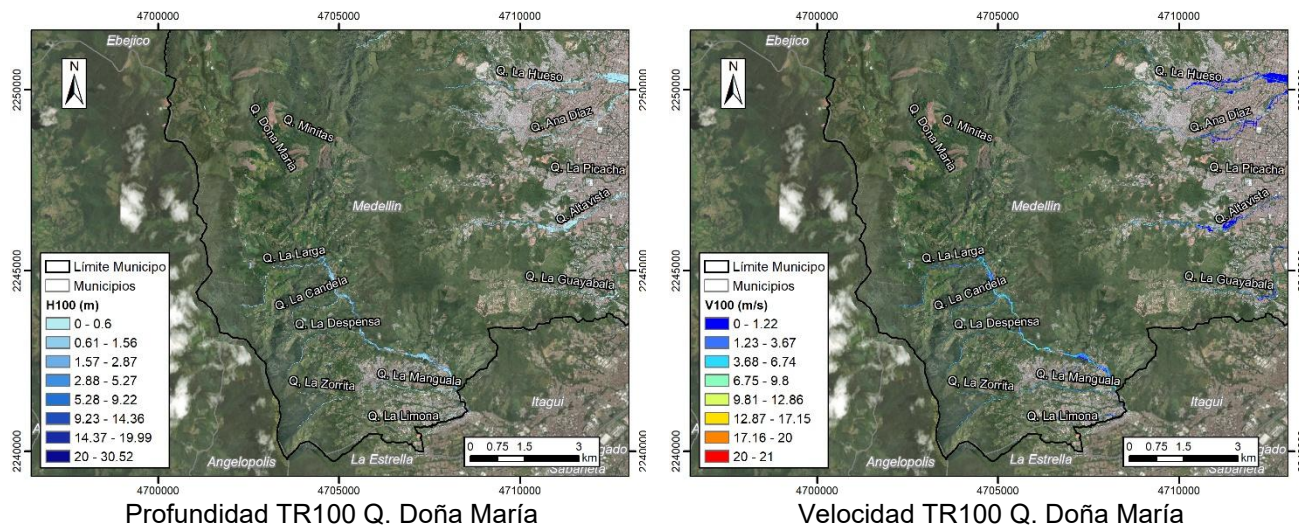


Ilustración 58. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada Doña María

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

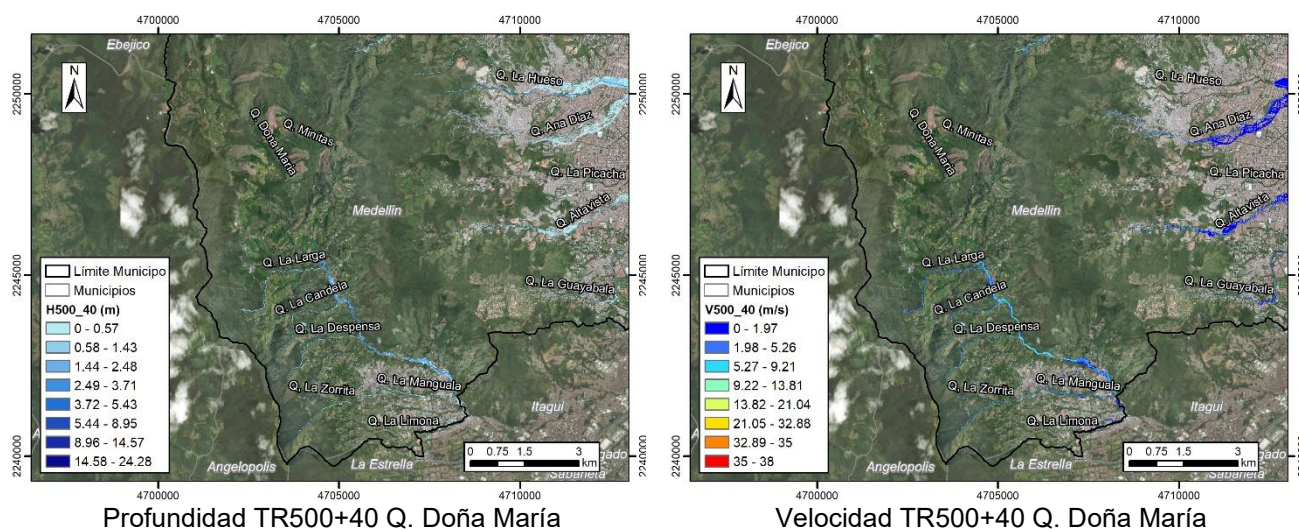
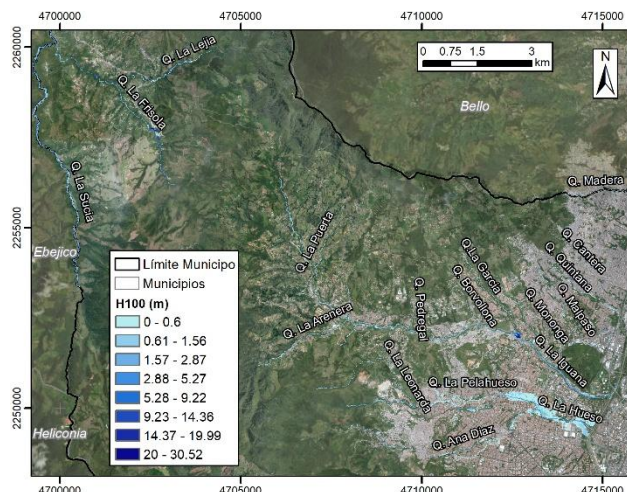


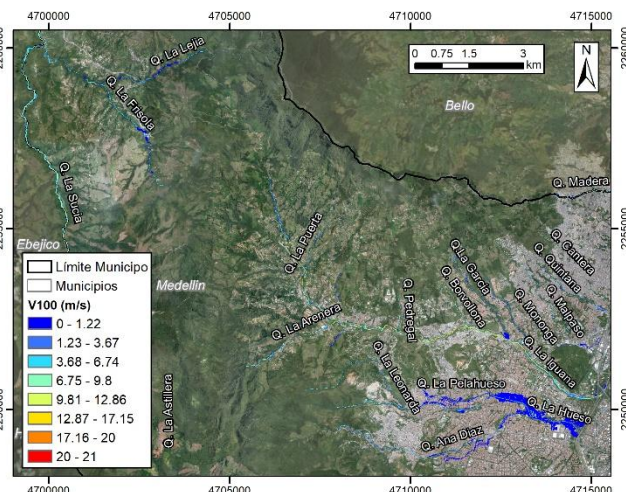
Ilustración 59. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada Doña María

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

Es de tener en cuenta que los análisis corresponden al desarrollo de modelos hidráulicos en función de la información topográfica que ha sido tomada de un levantamiento LIDAR disponible para el distrito de Medellín y con resolución de 1x1 m en la elaboración de estudio básico de amenaza. Por ello, los resultados obtenidos son acordes a la información disponible y el alcance del estudio. Las imágenes de los demás modelos de las cuencas priorizadas se encuentran en el anexo 5.



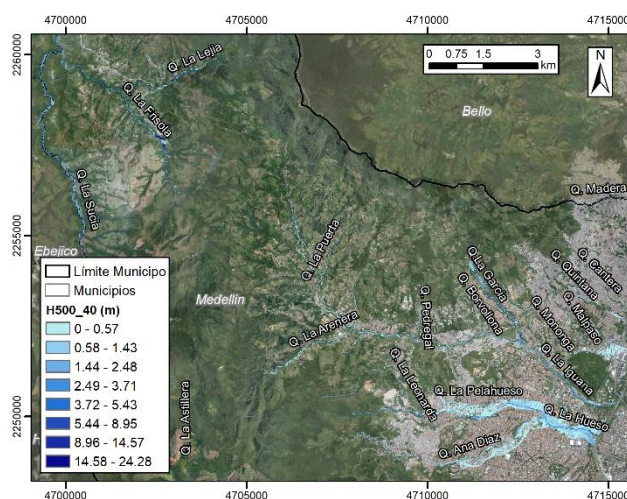
Profundidad TR100 Q. La Iguaña



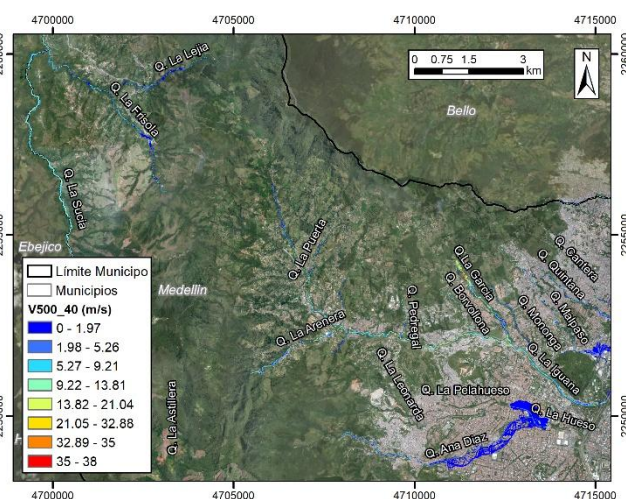
Velocidad TR100 Q. La Iguaña

Ilustración 60. Campo de profundidad y velocidad para TR100 en quebrada La Iguaña

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.



Profundidad TR500+40 Q. La Iguaña



Velocidad TR500+40 Q. La Iguaña

Ilustración 61. Campo de profundidad y velocidad para TR500+40 en quebrada La Iguaña

Fuente: Universidad EAFIT, 2025.

4 BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo Metropolitano 009 del 2012. *Directrices y lineamientos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera*. Universidad Nacional de Colombia, Universidad EAFIT y Universidad de Medellín, Medellín.

Alvioli, M., & Baum, R. L. (2016). Parallelization of the TRIGRS model for rainfall-induced landslides using the message passing interface. *Environmental Modelling & Software*, 122-135.

Área Metropolitana Del Valle De Aburrá – AMVA. (2007). *Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado*.

Baum, R. L., Savage, W. Z., & Godt, J. W. (2002). TRIGRS - A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis. Reston, EUA: U.S. Geological Survey.

Baum, R. L., Savage, W. Z., & Godt, J. W. (2008). TRIGRS - A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis, Version 2.0. Reston, EUA: U.S. Geological Survey.

Campo, J. M., Múnera, J. C. (1997). *Determinación de Tiempos de Concentración y Coeficientes de Escorrentía para Algunas Cuencas de Antioquia*. [Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 148p]

Chow, V. T. (1992). *Hidráulica de Canales Abiertos*. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia. 667 p.

Chow, V. T.; Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá, McGraw-Hill, 583 p.

Clark, C. O. (1945). *Storage and the Unit Hydrograph*. Proc. Amer. Soc. Engs. Vol 69. P 1333 – 1360.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Actualización POMCA Río Aburrá : Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, Medellín, Antioquia : Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.

Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Decreto Número 1077 de 2015.

Empresas Públicas de Medellín - EPM. (2005). *Revista hidrometeorológica de Empresas Públicas de Medellín*. Departamento de Hidrometría e Instrumentación de EPM.

Empresas Públicas de Medellín - EPM. (2009). *Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado*. Medellín

IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. 2013. Bogotá, D.C.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. (2014). *Modelación Hidrológica. Amenaza por inundaciones*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>. Fecha consulta: 09/01/2018

Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2010). NSR-10, Norma Sismo Resistente, R. C. D. C. S. 2010. Bogotá.

Montoya-Araque, E. A., & Montoya-Noguera, S. (2023). Sensitivity Analysis of a Physically Based Model to Assess Rainfall-Triggered Shallow Landslides. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2797-2814.

Montoya-Araque, E. A., Lopez-Caballero, F., and Montoya-Noguera, S. (2024b). Using fragility curves in the probabilistic spatial assessment of permanent displacements of slopes. In *Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE2024)*, Milan, Italy.

Montoya-Araque, E. A., Montoya-Noguera, S., and Lopez-Caballero, F. (2024a). An open-source application software for spatial prediction of permanent displacements in earthquake-induced landslides by the Newmark sliding block method: pyNewmarkDisp. *Environmental Modelling & Software*, 173:105942.

Montoya-Araque, E. A., Montoya-Noguera, S., Lopez-Caballero, F., and Gatti, F. (2025). Numerical earthquake-induced landslide hazard assessment at regional scale in the Colombian Andes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 195: 109370.

Ordoñez Carmona, O., Valencia Marín, M., González Iregui, H., Cañola Herrera, E., Ruiz, M., Rendón Ramírez, A. (2005). *Generalidades del sistema de fallas de Romeral en las cercanías a Medellín*.

Ordoñez, J.I. (2005). *El régimen de los ríos aluviales y sus implicaciones sobre la socavación general*. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.

Posada, J. E. (1998). *Determinación del Coeficiente de Rugosidad en Canales Naturales*. [Trabajo Dirigido de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas]. Medellín. 74p.

Servicio Geológico Colombiano - SGC. (2015). Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa, escala detallada. Colección Guías y Manuales. 179p.

Servicio Geológico Colombiano - SGC. (2021). Guía metodológica para zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Colección Guías y Manuales. 240p.

- SGC. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá, D.C., Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000. Bogotá, D. C., Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- Smith y Vélez. (1997). *Hidrología de Antioquia*. Secretaria de Obras Públicas del Municipio de Medellín y Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Snyder, F. (1938). *Synthetic unit hydrographs*. Trans Am Geophysics Union, 19, 447–54
- Tarboton, D. G. (1997). *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*, p 309 - 319
- Témez, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. España: Dirección General de Carreteras-MOPU.
- Turner. H.M., y Burdoin, A. J. (1941). *The flood hydrograph*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, vol 28, no 3, p 232 – 281
- U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. (2016). *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*.
- U.S Army Corps Of Engineers – Hydrologic Engineering enter. (2002a). *HEC-RAS river*
- U.S Army Corps Of Engineers – Hydrologic Engineering enter. (2002b). *HEC-RAS*
- U.S Army Corps Of Engineers – Hydrologic Engineering enter. (2010). *HEC-RAS*
- Universidad Nacional De Colombia - UNALMED, Área Metropolitana Del Valle De Aburrá - AMVA, Corporación Autónoma Regional del Centro De Antioquia - CORANTIOQUIA y Corporación Autónoma Regional Rionegro y Nare - CORNARE. (2007). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA) del Río Aburrá*.
- Universidad Nacional De Colombia, Corporación Autónoma Regional del Centro De Antioquia - CORANTIOQUIA, Instituto Mí Río. (2003). *Metodología para la formulación de Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (PIOM)*
- Universidad Nacional De Colombia, sede Medellín – UNALMED. (2010). HidroSIG 4.0. Manual de Usuario. Recuperado de <https://minas.Medellín.unal.edu.co/departamentos/geocienciasymedioambiente/hidrosig/es/hidrosig-4-0.html>. Fecha consulta: 09/01/2018
- Vélez, J.J., y Botero, A. (2010). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental*.