



¡Tod@s construimos el futuro
de nuestro municipio!

ESTUDIOS BÁSICOS DE, RIESGO CHÍA, CUNDINAMARCA INUNDACIÓN

Mayo de 2022
Versión Final



ALCALDÍA
MUNICIPAL
DE CHÍA

Secretaría de
Planeación



TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	OBJETIVO	10
2.1	Objetivos específicos	10
3.	IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS	10
3.1	Descripción específica.....	12
3.1.1	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los eventos	12
3.1.2	Periodos de retorno para mapas de amenazas (Desbordamiento).....	12
3.1.3	Probabilidades altas, medias, bajas	12
3.2	Metodología de análisis de inundaciones.....	13
4.	HIDROLOGÍA MUNICIPIO DE CHÍA.....	14
4.1	Cuencas hidrográficas en el municipio de Chía.....	14
4.2	Localización del municipio de Chía	15
4.2.1	Inventario de estaciones e información disponible	16
4.3	Análisis de calidad de la información.....	18
4.3.1	Inspección visual.....	19
4.3.2	Curva de masa simple	19
4.3.3	Selección del periodo de estudio.....	20
4.4	Precipitación	21
4.4.1	Precipitación total.....	21
4.4.2	Precipitación Número de días	22
4.4.3	Precipitación Máxima en 24 horas	23
4.4.4	Variación espacial de la precipitación en el municipio	24
4.4.5	Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).....	26
4.5	Caudales Medios	27
4.6	Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos	28
4.7	Análisis de caudales máximos	29
4.7.1	Caudales máximos en el río Frío.....	29
4.7.2	Estimación de caudales máximos	30
4.8	Modelo hidrológico implementado para la estimación de caudales máximos	31
4.8.1	Topología del modelo para cauces analizados a escala 1:2.000.....	31
4.8.2	Morfometría de cuencas y tiempo de rezago.....	32
4.8.3	Determinación de la lluvia de diseño.....	34
4.8.4	Curva Número.....	38

4.8.5	Calibración	40
4.8.6	Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos instantáneos	41
4.8.7	Topología del modelo para cauces analizados a escala 1:25.000	42
4.8.8	Morfometría de cuencas y tiempo de rezago cauces analizados a escala 1:25.000 44	
4.8.9	Calibración cauces analizados a escala 1:25.000	44
4.8.10	Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos instantáneos quebradas 1:25.000	45
5.	DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN – TIPO DESBORDAMIENTO	47
5.1	Hidráulica Municipio de Chía	47
5.1.1	Marco conceptual	48
5.1.2	Modelo Hidráulico quebradas 1:2000	48
5.1.3	Modelo Hidráulico quebradas 1:25.000	67
5.1.4	Modelo hidráulico Río Bogotá	71
5.2	Resultados inundación por desbordamiento	73
5.2.1	Resultados inundación cauces 1:2.000	73
5.2.2	Resultados cauces analizados a escala 1:25.000	84
5.2.1	Resultados y análisis de modelación Río Bogotá	89
6.	DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN – TIPO ENCHARCAMIENTO	91
7.	INVENTARIO DE PROCESOS	95
8.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN RURAL	102
8.1	Amenaza inundación rural desbordamiento	102
8.2	Amenaza inundación rural encharcamiento	103
9.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN URBANO Y ZONAS DE EXPANSIÓN 104	
9.1	Amenaza inundación urbano desbordamiento	104
9.2	Amenaza inundación urbano encharcamiento	105
10.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN CENTROS POBLADOS	105
10.1	Amenaza inundación centros poblados desbordamiento	105
10.2	Amenaza inundación centros poblados encharcamiento	106
11.	CONCLUSIONES	107
11.1	Chuca de Fagua	107
11.2	Quebrada Tíquiza	107
11.3	Río Frío	108
11.4	Quebradas El Chircal y Sindamanoy	108
11.5	Quebrada Honda	108

11.6	Quebrada Santiamén	108
11.7	Quebrada El Rincón.....	108
12.	NOTA LEGAL – MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD	109

VERSIÓN FINAL

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de Amenazas	11
Tabla 2. Escalas de trabajo.....	12
Tabla 3 Estaciones con información disponible.....	17
Tabla 4. Inventario de registros disponibles por estación	18
Tabla 5. Periodo de estudio homogéneo seleccionado	20
Tabla 6. Información disponible	20
Tabla 7. Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2020].....	21
Tabla 8. Precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2020]	23
Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2020].....	24
Tabla 10. Coeficientes del método de Vargas y Díaz-Granados (1998).....	26
Tabla 11. Intensidad de precipitación [mm/hora] según periodo de retorno y duración estación Guanatá (21205890)	27
Tabla 12. Características de estación hidrométrica.....	27
Tabla 13. Caudal media mensual promedio multianual [2009-2020]	27
Tabla 14. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.....	29
Tabla 15. Caudales máximos río Frio a la entrada del municipio	29
Tabla 16. Morfometría usada en modelo HMS Chucua de Fagua.....	32
Tabla 17. Morfometría usada en modelo HMS quebradas Honda, Santiamén y Rincón	33
Tabla 18. Distribución temporal de la tormenta de diseño.....	34
Tabla 19. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e $la=0.2S$	39
Tabla 20. Tiempos de rezago usados en el modelo de Chucua de Fagua	40
Tabla 21. Tiempos de rezago usados en el modelo quebradas Rincón y Santiamén.....	40
Tabla 22. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno Chucua de Fagua	41
Tabla 23. Resultados caudales máximos instantáneos quebradas El Rincón y Santiamén.....	42
Tabla 24 Morfometría usada en modelo HMS quebradas El Chircal y Sindamanoy.....	44
Tabla 25. Morfometría usada en modelo HMS quebrada Tíquiza	44
Tabla 26. Tiempos de rezago usados en el modelo de quebrada Tíquiza.....	45
Tabla 27. Tiempos de rezago usados en el modelo de quebradas El Chircal y Sindamanoy	45
Tabla 28. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno (El Chircal Sindamanoy).....	46
Tabla 29. Resultados caudales máximos instantáneos quebrada Tíquiza	47
Tabla 30. Variables Cowan	50
Tabla 31. n de Manning	50
Tabla 32. Caudales máximos instantáneos.....	63
Tabla 33. Caudales Chucua la Fagua.....	65
Tabla 34. Caudales quebrada Honda	65
Tabla 35. Caudales quebrada Rincón.....	65
Tabla 36. Caudales quebrada Santiamén	65
Tabla 37. Pendientes de entrada	66
Tabla 38. n de Manning Quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy.....	67

Tabla 39. Caudales Quebrada El Chircal	70
Tabla 40. Caudales Quebrada Tíquiza.....	70
Tabla 41. Caudales Quebrada Sindamanoy	70
Tabla 42. Pendientes de entrada	70
Tabla 43. Caudales de modelación Río Bogotá	72
Tabla 44. Rugosidades n de manning Río Bogotá	72
Tabla 45. Abscisas que delimitan las zonas de inundación por desbordamiento	74
Tabla 46. Áreas de afectación	74
Tabla 47. Abscisas que delimitan las zonas de inundación por desbordamiento	85
Tabla 48. Áreas de afectación	85
Tabla 49. Susceptibilidad de encharcamiento en base en el almacenamiento por depresión de superficie de Bennet (1998)	92
Tabla 50. Matriz de Encharcamiento.....	92
Tabla 51. inventario de procesos inundación	97
Tabla 52. Áreas en amenaza por inundación desbordamiento Rural	102
Tabla 53. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento Rural	103
Tabla 54. Áreas en amenaza por inundación desbordamiento Urbano	104
Tabla 55. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento Urbano	105
Tabla 56. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento CP	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas en el municipio.....	14
Figura 2. Localización del municipio de Chía.....	15
Figura 3. Localización estaciones utilizadas en el análisis.....	16
Figura 4. Periodo de registro de estaciones identificadas.....	17
Figura 5. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas	19
Figura 6. Curvas de masa simple	20
Figura 7. Variación temporal de la precipitación total mensual promedio multianual [1990-2020]	22
Figura 8. Variación temporal de la precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2020].....	23
Figura 9. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2020].....	24
Figura 10. Isoyetas del área de estudio	25
Figura 11. Variación temporal del caudal media mensual promedio multianual [2009-2020]	28
Figura 12. Prueba de Bondad de Ajuste	28
Figura 13. Topología del MODELO HMS implementado.....	31
Figura 14. Hietogramas de diseño.....	34
Figura 15. Mapa de Curvas Número.....	39
Figura 16. Salida gráfica del MODELO HEC-HMS	41
Figura 17. Topología del MODELO HMS implementado (Quebradas El Chircal y Sindamanoy)	43
Figura 18. Topología del MODELO HMS implementado, (Quebrada Tíquiza)	43

Figura 19. Salida gráfica del MODELO HEC-HMS	46
Figura 20. Software computacional HEC-RAS 4.0.....	48
Figura 21. Modelo digital de elevación.....	49
Figura 22. Tubería k00+255 a K00+244	56
Figura 23. Tubería k00+388 a K00+395	56
Figura 24. Tubería k00+424 a K00+230	57
Figura 25. Tubería k00+464 a K00+575	57
Figura 26. Tubería k00+577 a K00+607	57
Figura 27. Tubería k00+577 a K00+607	58
Figura 28. Tubería k00+687 a K00+697	58
Figura 29. Tubería k00+776 a K00+783	58
Figura 30. Tubería k00+776 a K00+783	59
Figura 31. Tubería K09+000 a k38+000	59
Figura 32. Tubería k02+146 a K02+150	59
Figura 33. Tubería k02+222 a K02+227	60
Figura 34. Tubería K02+880 a k02+888	60
Figura 35. Tubería k02+973 a K02+978	60
Figura 36. Tubería k03+026 a K03+031	61
Figura 37. Tubería k03+041 a K03+046	61
Figura 38. Tubería k03+112 a K03+105	61
Figura 39. Tubería k03+379 a K03+388	62
Figura 40. Tubería k00+521 a K00+653	62
Figura 41. Tubería k01+370 a K01+423	62
Figura 42. Tubería k01+494 a K01+584	63
Figura 43. Tubería k00+624 a K00+642	63
Figura 44. Topología Chucua de Fagua	64
Figura 45. Topología quebradas Honda, Rincón y Santiamén.....	64
Figura 46. Uniones condiciones de frontera Chía	66
Figura 47. Tubería k00+523 a K00+545	67
Figura 48. Tubería k00+480 a K00+502	68
Figura 49. Tubería K00+896 a k00+874	68
Figura 50. Tubería k02+146 a K02+150	68
Figura 51. Topología quebrada Tíquiza	69
Figura 52. Topología quebradas El Chircal Sindamanoy	69
Figura 53. Uniones condiciones de frontera Chía	71
Figura 54. Uniones y condiciones de frontera Chía	71
Figura 55. Sección transversal Río Frío.....	73
Figura 56. Área (m ²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 2.33 años.....	75
Figura 57. Área (m ²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 25 años	75
Figura 58. Área (m ²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 50 años	76
Figura 59. Área (m ²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 100 años.....	76
Figura 60. Río Frío k08+404 a k07+704	77
Figura 61. Río Frío k13+454 a k13+104	77

Figura 62. Río Frío k05+983 a k05+833	78
Figura 63. Río Frío k05+383 a k05+233	78
Figura 64. Río Frío k04+683 a k04+183	79
Figura 65. Río Frío k03+283 a k02+633	79
Figura 66. Chucua de Fagua K05+145 – k03+650	80
Figura 67. Chucua de Fagua K03+359 – k1+314	80
Figura 68. Chucua de Fagua K01+314 – k00+252	81
Figura 69. Chucua de Fagua K00+252 – k00+038	81
Figura 70. Quebrada Honda k01+611 a k00+335.....	82
Figura 71. Quebrada Rincón k00+964 a k00+205	82
Figura 72. Quebrada Rincón k01+555 a k01+005	83
Figura 73. Quebrada Santiamén k01+121 a k00+125	83
Figura 74. Sección transversal Q. Sindamanoy	84
Figura 75. Área (m ²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 2.33 años	85
Figura 76. Área (m ²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 25 años	86
Figura 77. Área (m ²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 50 años	86
Figura 78. Área (m ²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 100 años	87
Figura 79. El Chircal K00+400 – k01+480	87
Figura 80. Quebrada Sindamanoy K00+950 – k01+200	88
Figura 81. Quebrada Tíquiza k00+600 a k01+400.....	88
Figura 82. Quebrada Tíquiza k00+008 a k00+550.....	89
Figura 83. Río Bogotá k33+360 a k40+083	89
Figura 84. Río Bogotá k24+183 a k33+360	90
Figura 85. Río Bogotá k12+247+008 a k25+521	90
Figura 86. Río Bogotá k11+523 a k19+524	91
Figura 87. Amenaza inundación por Encharcamiento.....	95
Figura 88. Información secundaria inundaciones alcaldía polígono 1:2000 de inundación 2011	95
Figura 89. Inundación 1998 Chía IDEAM	96
Figura 90. Inundación 2011 Chía IDEAM	96
Figura 91. Información secundaria inundaciones alcaldía polígono 1:25000 de inundación 2011	97
Figura 92. Punto 1 Inventario de procesos inundación por encharcamiento	98
Figura 93. Punto 2 Inventario de procesos inundación por encharcamiento	99
Figura 94. Punto 3 Inventario de procesos inundación por encharcamiento	99
Figura 95. Punto 4 Inventario de procesos inundación por desbordamiento	100
Figura 96. Punto 5 Inventario de procesos inundación por desbordamiento	100
Figura 97. Punto 6 Inventario de procesos inundación por desbordamiento	101
Figura 98. Punto 7 Inventario de procesos inundación por desbordamiento	101
Figura 99. Amenaza inundación desbordamiento Rural	102
Figura 100. Amenaza inundación encharcamiento Rural.....	103
Figura 101. Amenaza inundación desbordamiento Urbano	104
Figura 102. Amenaza inundación encharcamiento Urbano.....	105
Figura 103. Amenaza inundación desbordamiento Centros Poblados.....	106

Figura 104. Amenaza inundación encharcamiento Centros Poblados 106

VERSIÓN FINAL

1. INTRODUCCIÓN

El tema de la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la Planificación del Desarrollo Territorial, se viene abordando desde la aplicación de Ley 9ª de 1989, cuando por primera vez se dispuso la obligatoriedad de incluir en los Planes de Desarrollo, acciones concretas para la intervención del territorio, y la definición de responsabilidades y competencias con respecto a la visión de futuro de los municipios y por el Decreto ley 919 de 1989 que ordena a través de su artículo 6º a las entidades territoriales incorporar el componente de prevención de desastres en los procesos de planificación territorial, sectorial y de desarrollo.

Esto parte de la necesidad de mejorar las condiciones de seguridad de los asentamientos generados en los municipios, disminuyendo la influencia negativa de fenómenos ambientales en el desarrollo del territorio.

Es por esto por lo que en el desarrollo del presente documento se buscará hacer una caracterización de los factores que representan amenazas, analizando el proceso de inundaciones dentro del territorio del municipio de Chía y que de acuerdo con su categorización se adelantará la incorporación del riesgo en el Ordenamiento Territorial, teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1807 de 2014.

2. OBJETIVO

Elaborar el mapa de amenaza por inundaciones de encharcamiento y desbordamiento del municipio de Chía, Cundinamarca.

2.1 Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones hidrológicas e hidráulicas del río Frío, río Bogotá, Chucua de Fagua, quebradas Honda, el Rincón, Santiamén en escala 1:2.000 y quebradas Sindamano, Chircal y Tíquiza en escala 1:25.000 a partir de datos multianuales y datos recolectados en campo para poder determinar la amenaza por inundaciones.
- Evaluar las condiciones de desbordamiento y encharcamiento del municipio de Chía para establecer zonas de condición de riesgo y condición de amenaza.

3. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

Se debe cuantificar el nivel de amenaza, a través del análisis, identificación y evaluación de los fenómenos hidrológicos que afectan al Municipio de Chía, con el fin de obtener información valiosa sobre zonas a priorizar, eventos desastrosos ocurridos, (ubicación, daños causados etc.). Se efectúa el levantamiento de la información histórica sobre los eventos ocurridos en la zona o sus alrededores. El análisis de amenazas se realiza a través de inventarios de fenómenos ocurridos y de incidencia en el municipio, también es realizado mediante observaciones y mediciones de campo, para el caso se emplearon modelos digitales de terreno de Chía Cundinamarca con ancho

de celda mínimo de 12.5 m y 30 m (MDT) obtenidos del municipio, levantamientos batimétricos y caudales con periodos de retorno de hasta 500 años del río Bogotá reportados en el contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y fuentes alternas como el satélite ALOS de la Nasa, estos en conjunto con los levantamientos batimétricos de las quebradas y cuerpos hídricos priorizados (Río Frío, Quebradas Santiamén, El Rincón, Honda y Chucua de Fagua), fueron la base sobre la cual se desarrollaron modelos hidrológicos e hidráulicos, con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de estos fenómenos naturales que pueden representar un riesgo asociado a crecientes e inundaciones, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica.

El análisis tiene como resultado la elaboración de un mapa de amenazas, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

En una evaluación cuantitativa, la amenaza en un sitio específico se podría caracterizar determinando para cada evento posible (i):

- • mi: magnitud del evento [definida por profundidad, velocidad, volumen, energía, ...]
- • p(mi): frecuencia o probabilidad de ocurrencia del evento [en % / año]

Con estos datos se clasificarán las amenazas según lo establecido en **Tabla 1**.

Tabla 1. Identificación de Amenazas

Tipo de amenaza	mi: Magnitud del evento	p(mi): Frecuencia o probabilidad
Zona de amenaza alta	Alto	Alta
	Alto	Media
	Medio	Alta
Zona de amenaza media	Alto	Baja
	Medio	Medio
	Medio	Baja
Zona de amenaza baja	Bajo	Alta
	Bajo	Media
	Bajo	Baja

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Como resultado de la evaluación de amenazas se genera el mapa de amenazas. El producto de la evaluación de amenazas se hará con los materiales disponibles, en especial los mapas topográficos a una escala adecuada. El mapa de amenazas se elaborará en una plataforma SIG.

De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, las escalas de trabajo para la elaboración de los estudios básicos se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Escalas de trabajo

Tipo de estudio	Clase de suelo	Escala
Estudio Básico	Urbano	1 :5.000
	Expansión Urbana	1 :5.000
	Rural	1 :25.000
Estudio Detallado	Urbano	1 :2.000
	Expansión Urbana	1 :2.000
	Rural Suburbano	1 :5.000

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

3.1 Descripción específica

3.1.1 Estimación de probabilidades de ocurrencia de los eventos

La probabilidad relativa de ocurrencia de un evento puede ser estimada con base a la experiencia del especialista y las evidencias de actividad e intensidad del fenómeno. Se realiza un análisis relativo (utilizando consideraciones que pueden ser ciertas o no, dependiendo de la experiencia del analizador); este análisis consiste en expresar de manera cuantitativa observaciones subjetivas. En este sentido para el municipio de Chía se efectuaron una serie de análisis estadísticos de los registros históricos existentes en términos de lluvias y caudales, para efectos de establecer escenarios asociados a eventos extremos que podrían llegar a derivar en crecientes súbitas de las corrientes identificadas a escala 1:2000, correspondiente al Río Frío, Quebradas Santiamén, El Rincón, Honda y Chucua de Fagua y a escala 1:25000 para la zona rural, como es el caso de las quebradas Sindamano, Chircal y Tíquiza.

3.1.2 Periodos de retorno para mapas de amenazas (Desbordamiento)

Para la elaboración de mapas de amenazas, se tomaron como referencia 3 escenarios de creciente que directamente influyen sobre la dinámica natural de los cauces en el tiempo, es decir que se analizan las crecientes normales asociadas a los niveles de agua presentes en los cauces producto de inviernos normales, es decir inviernos que presentan tanto en magnitud de caudal como de precipitación valores menores o iguales al promedio histórico del orden de periodos de retorno de 2 años. En un segundo escenario se analizaron niveles del agua asociados a caudales generados por inviernos con tendencias tanto en lluvia como en escorrentía del orden de periodos de retorno de 50 años; y por último se analizaron los caudales extraordinarios que a menudo superan los caudales asociados al Bank Full o banca llena, que corresponden a caudales con periodos de retorno de 100 años.

3.1.3 Probabilidades altas, medias, bajas

Con base a lo expuesto anteriormente se puede inferir que los niveles de agua en los cauces presentados producto de inviernos normales o inviernos con periodos de retorno de 2 años, son los eventos que presentan una mayor recurrencia, de hecho actualmente estos niveles del agua son los que determinan las zonas desde donde se delimitan las rondas de protección hidráulica,

en donde se restringe según la legislación ambiental vigente en Colombia cualquier tipo de actividad antrópica distinta a la protección y conservación, es por esta razón que estas franjas de lámina de agua asociadas a los caudales de periodos de retorno de 2 años serán tipificadas como zonas de amenaza alta de inundación, dado que son las zonas que frecuentemente o casi todos los inviernos se encuentran inundadas, por lo que cualquier tipo de infraestructura se vería totalmente expuesta.

Del mismo modo los niveles del agua asociados a periodos de retorno de 50 años marcan las zonas con una tendencia media de inundación, esto quiere decir que hay una probabilidad con tendencia media a baja de aparición de estos caudales y por ende estos niveles de agua, por lo que los polígonos marcados por este escenario podrán tipificarse como zonas de amenaza media de inundación en donde el uso de los suelos presenta condiciones más flexibles con respecto a las zonas de amenaza alta.

Por último, los niveles de agua asociados a caudales con periodos de retorno de 100 años marcan tendencias poco probables de ocurrencia, pero con un alto poder de ocupación por agua y posiblemente de afectación, por lo que dada su baja probabilidad de ocurrencia se tipifican como amenaza baja de inundación, sin embargo, pensando en el ordenamiento territorial es necesario tenerlos en cuenta para efectos de planificar a largo plazo el manejo de dichas zonas.

3.2 Metodología de análisis de inundaciones

Como se expuso anteriormente para el análisis del comportamiento de las posibles inundaciones sobre los cauces que discurren tanto en el perímetro urbano como rural del municipio de Chía se hace necesaria inicialmente la modelación hidrológica a nivel de eventos asociados a periodos de retorno de 2.33, 50 y 100 años, esta modelación se efectúa tanto por métodos directos en caso de existir limnímetros o limnigrafos sobre las corrientes de interés, o métodos indirectos a través de modelos lluvia escurrentía en caso de carecer de información de caudales. Los métodos utilizados para cada cuenca en particular se detallan en el capítulo correspondiente a Hidrología del presente documento. Una vez conocidos los caudales para cada escenario se procede a efectuar modelos hidráulicos unidimensionales los cuales fueron construidos a partir de las topobatimetrías a detalle levantadas sobre el río Frío en el casco urbano, y la priorización hecha sobre la zona rural, estos modelos serán detallados en su concepción en el capítulo de Hidráulica.

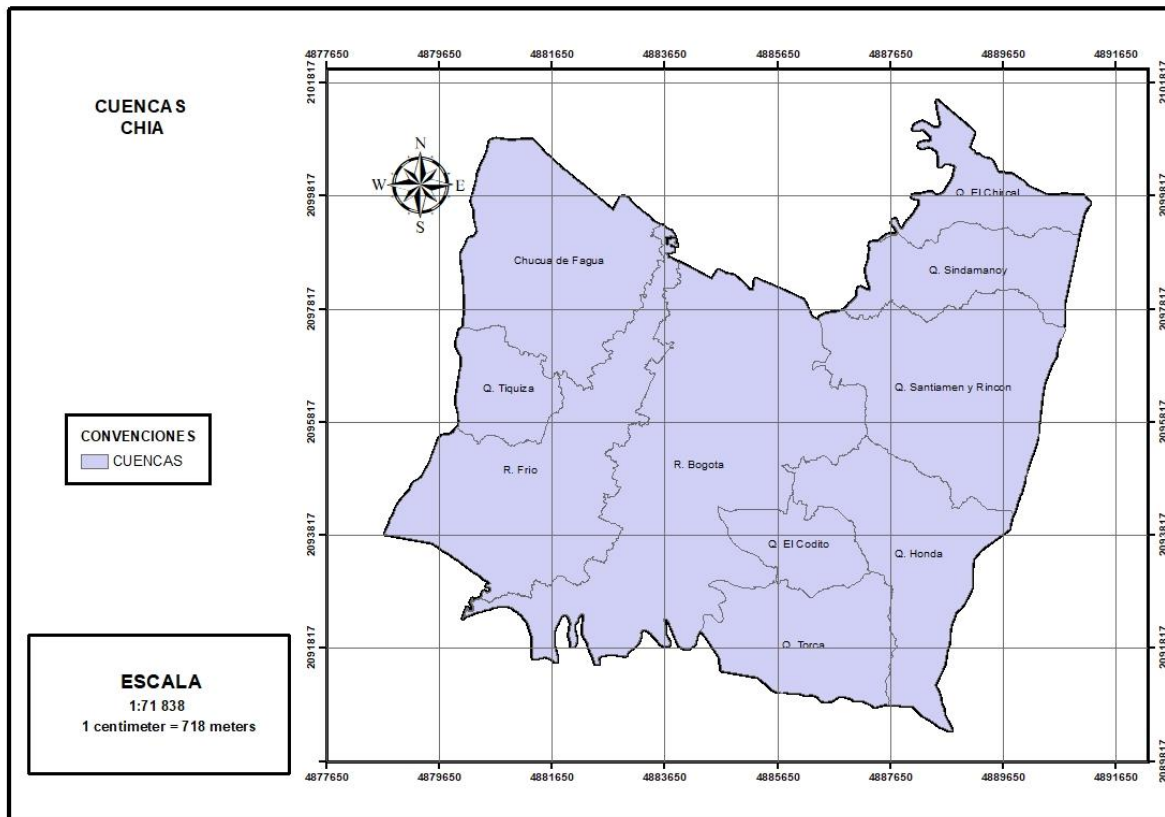
Por último y como resultado de los procesos de modelos hidráulicos e hidrológicos se generaron las manchas de inundación para cada escenario, dejando en condición de amenaza alta y en color rojo las manchas de inundación asociadas a periodo de retorno de 2 años, con color amarillo las zona de amenaza media correspondiente al periodo de retorno de 50 años, y finalmente en color verde las manchas de amenaza baja es decir las de periodo de retorno de 100 años; siendo así estos polígonos los establecidos como los de condición de amenaza por inundación que posteriormente serán utilizados en el análisis de condición de amenaza y condición de riesgo del municipio de Chía.

4. HIDROLOGÍA MUNICIPIO DE CHÍA

4.1 Cuencas hidrográficas en el municipio de Chía

Se identificaron 9 subcuencas en el área del municipio, de las cuales 6 drenan directamente al Río Bogotá, entre las que se encuentra la quebrada Honda, quebrada Santiamén y quebrada El Rincón. De igual forma se encuentra la Chucua de Fagua que drena sus aguas al río Frío, que desemboca finalmente al río Bogotá. En la **Figura 1** se muestran las áreas identificadas correspondientes a las cuencas de las corrientes a modelar hidrológicamente mediante las precipitaciones para la obtención de los caudales hidráulicos de las mismas. Se precisa que las quebradas Honda, Santiamén, el Rincón, así como el río Frío y río Bogotá fueron modelados a escala 1:2000 mientras que las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamano fueron modeladas a escala 1:25000.

Figura 1. Cuencas en el municipio



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

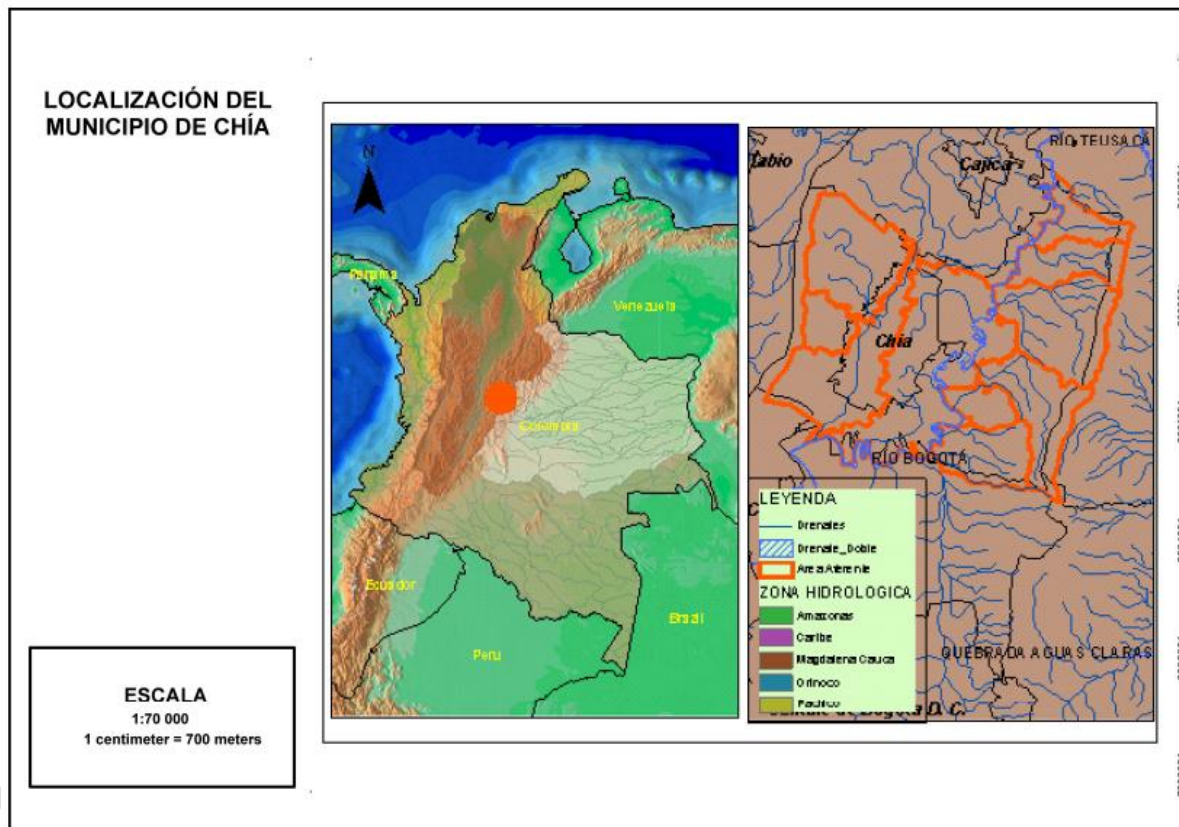
El presente estudio busca determinar los caudales máximos al río Frío, Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Santiamén y Rincón, que son objetos de modelación hidráulica.

4.2 Localización del municipio de Chía

Las características climáticas de Colombia están determinadas fundamentalmente por la situación geográfica del país y por sus cadenas montañosas, las cuales modifican en cierto grado las condiciones atmosféricas cerca de la superficie y originan situaciones meteorológicas de carácter local. Para el estudio hidrológico, el análisis preliminar de la localización del área de estudio es importante para comprender los principales factores que a nivel regional determinan la hidrología.

El municipio de Chía se localiza en la zona hidrológica del Magdalena Cauca, en el Departamento de Cundinamarca aproximadamente en el centro del país, en la coordenada Norte: 2101516.0 a 2090373.7 y Este: 4878669.04 a 4891186.9 Origen Único Nacional. En la **Figura 2** se muestra la localización hidrográfica del área de Municipio de Chía.

Figura 2. Localización del municipio de Chía



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

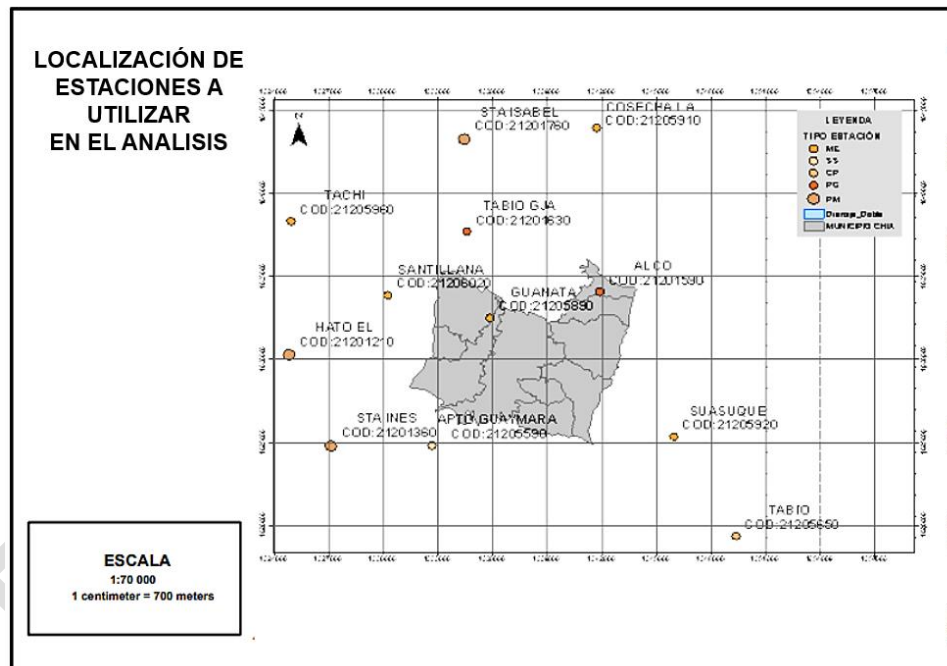
El clima y el escurrimiento de la zona de estudio dependen de varios factores cuya combinación genera un tipo de distribución típica de los diferentes parámetros. A continuación, se presenta un resumen de los fenómenos generales que influyen en la variación espacial y temporal del clima en el área de estudio. En la región de estudio, como en la mayoría del país, las precipitaciones están determinadas por perturbaciones de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). La Zona de Confluencia Intertropical se mueve latitudinalmente, siguiendo el desplazamiento aparente del sol

con respecto a la Tierra, con un retraso aproximado de dos meses. Esto produce un régimen de precipitaciones con dos periodos húmedos durante el año, el primer periodo se registra durante los meses de abril y mayo y el segundo durante los meses de octubre y noviembre.

La Zona de Convergencia Intertropical, (ZCIT), es una zona de la atmósfera en la que confluyen dos masas de aire con baja presión relativa. La diferencia entre los núcleos de alta presión y la ZCIT, da origen a movimientos horizontales del aire desde los trópicos hasta el ecuador. El curso anual de la ZCIT sigue el movimiento aparente del sol. A principios de cada año la ZCIT se localiza hacia el sur del país. En esta área se presentan condiciones de elevada pluviosidad, exceptuando la Amazonía. En Colombia la ZCIT fluctúa, aproximadamente entre los 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero y febrero, y los 10° de latitud norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio – agosto. El desplazamiento origina que se presente en el año, un doble máximo y mínimo de precipitaciones y de los demás elementos meteorológicos.

4.2.1 Inventario de estaciones e información disponible

Figura 3. Localización estaciones utilizadas en el análisis



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

La metodología general consistió en la implementación de los pasos seguidos frecuentemente por la mayoría de los estudios climáticos e hidrológicos, según los cuales, el análisis de un elemento meteorológico o hídrico se basa en los resultados de un proceso que incluye el inventario, la depuración, la selección del período de estudio y la estimación de datos que falten en la serie estudiada (Eslava, Parra y Villalba, 1985). Se realizó una revisión de las estaciones disponibles en radio de 2 km de las áreas aferentes de las cuencas identificadas en el municipio, haciendo un filtro por las estaciones operadas por el la CAR y el IDEAM, estaciones que estén activas y por la

fecha de instalación de estas, buscando que la serie disponible sea lo más extensa y representativa posible del área de estudio. Una vez realizada la consulta respectiva a las entidades operadoras, en la **Figura 3** se presentan las estaciones que cuentan con información para el estudio, las cuales, dada su ubicación permiten hacer una buena caracterización de la variación espacial y temporal de la precipitación. En la **Tabla 3** se señalan las características de las estaciones de las cuales se obtuvo información, una vez realizada la solicitud respectiva al IDEAM y a la CAR. En la **Figura 4** se muestra el periodo de operación de las estaciones mostradas en la **Tabla 3**.

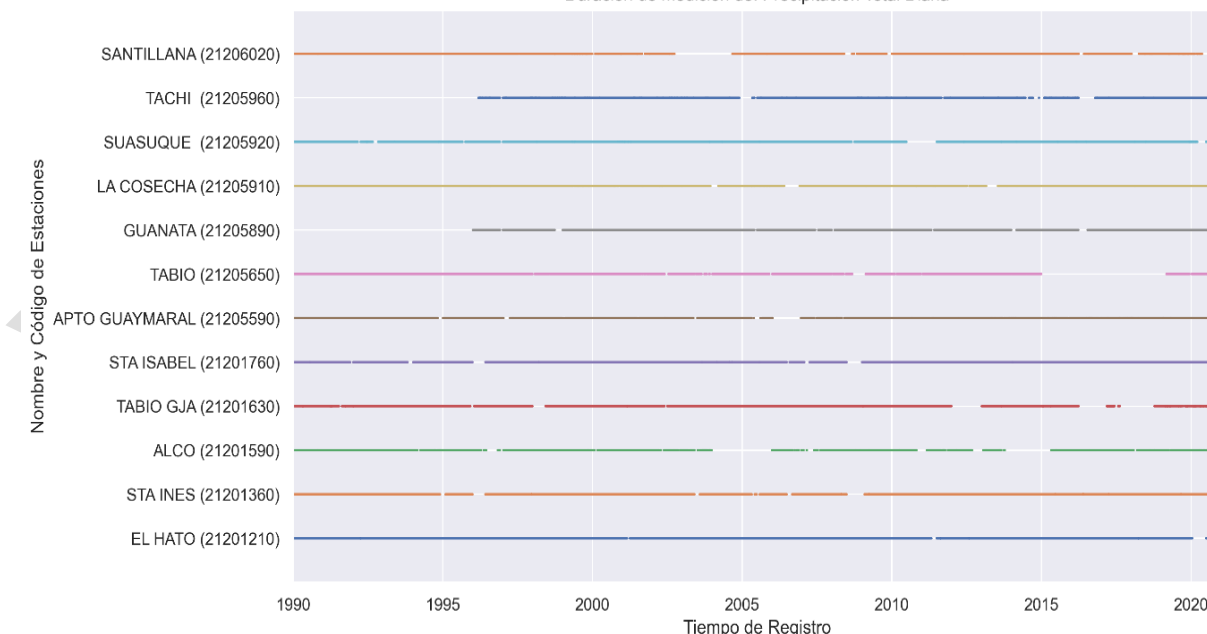
Tabla 3 Estaciones con información disponible

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	FECHA INST	FGDA	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
21201210	PM	EL HATO	SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	TENJO	6/15/1978	IDEAM	2575	4.87	-74.15
21205960	ME	TACHI	SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	2/15/1977	IDEAM	2650	4.94	-74.15
21201360	PM	STA INES	CHICU	CUNDINAMARCA	TENJO	3/15/1980	CAR	2550	4.82	-74.13
21206020	ME	SANTILLANA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TABIO	2/15/1977	IDEAM	2575	4.90	-74.10
21205590	SS	APTO GUAYMARAL	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	8/15/1965	CAR	2560	4.82	-74.08
21201760	PM	STA ISABEL	FRIO	CUNDINAMARCA	TABIO	5/15/1968	CAR	2680	4.98	-74.07
21201630	PG	TABIO GJA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TABIO	5/15/1987	IDEAM	2600	4.93	-74.07
21205890	ME	GUANATA	FRIO	CUNDINAMARCA	CHÍA	9/15/1976	IDEAM	2550	4.89	-74.05
21205910	ME	LA COSECHA	FRIO	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRÓ	9/15/1976	IDEAM	2600	4.99	-74.00
21201590	PG	ALCO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRÓ	6/15/1980	CAR	2590	4.90	-74.00
21205920	ME	SUASUQUE	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOPÉ	9/15/1976	IDEAM	2650	4.82	-73.96
21205650	CP	TABIO	CHICU	CUNDINAMARCA	TABIO	7/15/1970	CAR	2620	4.77	-73.93

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 4. Periodo de registro de estaciones identificadas

Duración de medición de: Precipitación Total Diaria



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Después de la consulta a CAR y el IDEAM, con la información entregada por estas entidades se generó una base de datos con la información de los registros de las estaciones disponibles, en formato SQLite y cuyo visor se puede descargar de <http://sqlitebrowser.org>. En la **Tabla 4** se presenta el inventario los registro por variable climática disponibles para el estudio en cada una de las estaciones identificadas.

Tabla 4. Inventario de registros disponibles por estación

Código	TR	TP	PT	QL
21200310	Totales	Diario	X	
21200500	Totales	Diario	X	
21200770	Totales	Diario	X	
21201130	Totales	Diario	X	
21201340	Totales	Diario	X	
21201360	Totales	Diario	X	
21201590	Totales	Diario	X	
21201760	Medios	Diario		X
21201880	Totales	Diario	X	
21202020	Totales	Diario	X	
21202080	Totales	Diario	X	
21205450	Totales	Diario	X	
21207350	Medios	Diario		X
21207870	Medios	Diario		X
21209250	Medios	Diario		X
21209600	Medios	Diario		X

PT: PRECIPITACIÓN, QL: CAUDAL LÍQUIDO

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Con la "X" se señalan las estaciones que tienen información de la variable respectiva. En total se cuenta con 5 estaciones que registran información de al menos una variable meteorológica para un total de 33 series de registros diarios. La base de datos está conformada por las tablas de cada serie. La nomenclatura usada para cada tabla está relacionada con la que tiene el IDEAM para la identificación de la serie de datos y para el proyecto se adecuó de la siguiente forma:

QL12120176050

Donde, los dos primeros caracteres corresponden al tipo de parámetro (ej. HR: humedad relativa, PT: precipitación, EV: Evaporación), el siguiente dígito corresponde al tipo de dato (ej. 1 promedio; 2 máximo; 4: total, 8: mínimo). Los siguientes 8 dígitos corresponden al código de la estación asignado por el IDEAM, el último dígito corresponde a si es un serie diaria o mensual (5: diaria; 8 Mensual). El último dígito indica el tipo de tratamiento que tiene la serie (0: Serie Cruda, 1: Serie Periodo Estudio, 2: Datos Atípicos Eliminados, 3: Datos Completos).

4.3 Análisis de calidad de la información

El Control de Calidad – generalmente referido como QC – supone un paso necesario e imprescindible para el correcto análisis de las series climáticas. Debe realizarse como tarea previa

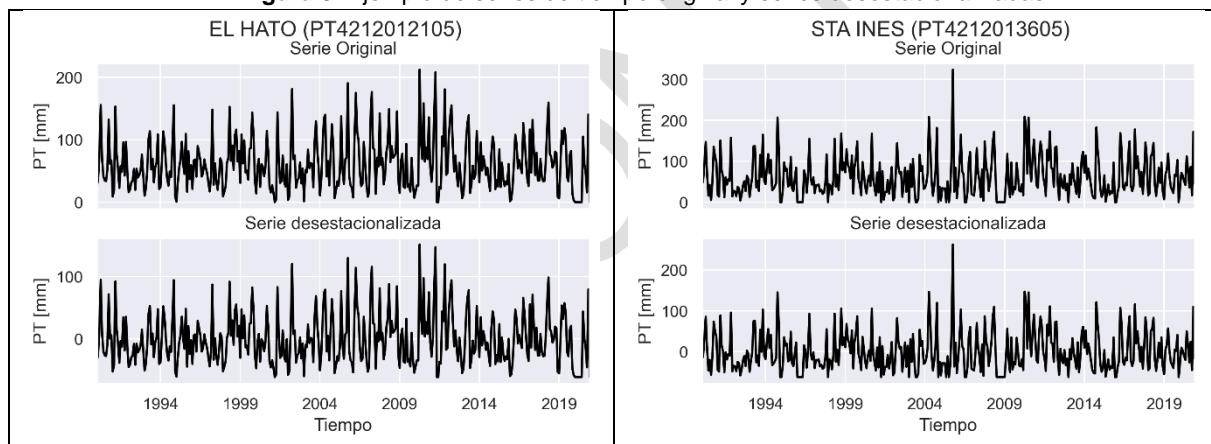
a los procesos de homogenización y permite eliminar errores no sistemáticos, entendiendo como tales aquellos que comprometen la validez de valores puntuales por causas diversas, aunque frecuentemente relacionadas con errores de anotación o digitalización, o manipulación de las bases de datos. El control de calidad, que consiste en someter a las series a test estadísticos simples y a inspección visual mediante gráficos específicos, permite también avanzarse a problemas de continuidad u homogeneidad que las mismas puedan presentar.

4.3.1 Inspección visual

La inspección visual de las series de tiempo de los datos representados gráficamente permite rápidamente la detección de datos sospechosos, además, la comparación de series de estaciones adyacentes puede brindar información acerca de la coherencia entre estaciones.

Para la inspección visual, además de la gráfica de los datos ordenados cronológicamente, se grafica la serie de tiempo desestacionalizada, la cual es obtenida al centralizar la serie de tiempo con respecto a las medias de largo plazo de esta. A modo de ejemplo en la **Figura 5** se muestran las series de tiempo de precipitación total mensual para las estaciones de El Hato y Sta Ines.

Figura 5. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

De acuerdo con la inspección visual preliminar realizada, se puede observar el periodo de registro de la variable específica y registros faltantes.

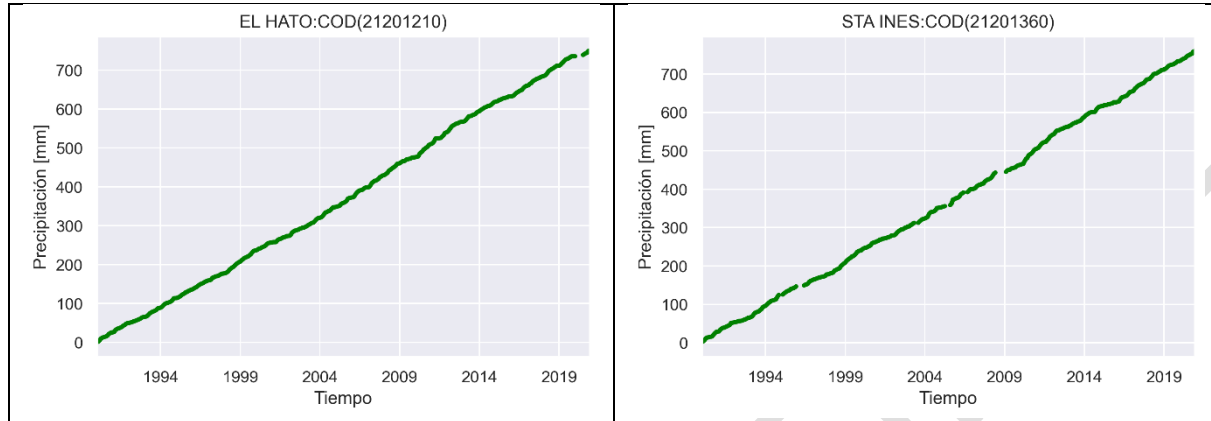
4.3.2 Curva de masa simple

Un diagrama de masa es una gráfica de la variable acumulada (ej. Precipitación) versus el tiempo, el valor enésimo de la nueva serie corresponde a la suma de los primeros n valores de la serie original. De este modo, cualquier cambio prolongado en la pendiente de la curva de masa puede ser considerado como sospechoso, o como una fuente de error (Salas 1980).

En general se aprecian curvas de masas estables y sin cambios significativos en su estructura para las series de precipitación. En la **Figura 6** se presentan las curvas de masa realizadas para

dos series en la cual se muestra el resultado de la curva de masa para las estaciones El Hato y Sta Inés, las cuales dejan ver series relativamente homogéneas y con bajo número de valores faltantes.

Figura 6. Curvas de masa simple



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.3.3 Selección del periodo de estudio

Para cada variable climática disponible, se seleccionó un periodo de tiempo homogéneo en el cual las estaciones tuvieran la mayor cantidad de datos y en el cual, según el análisis anterior, la serie presentara consistencia en sus registros. A manera de ejemplo, en la **Figura 6** se muestra el periodo de tiempo en el que las estaciones disponibles para el análisis de precipitación han operado y tienen datos de la variable. A partir de la anterior figura elaborada para cada variable, se determinó el periodo de análisis para el presente estudio. En la **Tabla 5** se presenta el periodo homogéneo seleccionado para cada variable.

Tabla 5. Periodo de estudio homogéneo seleccionado

Variable	Siglas	Tr	Año inicio	Año final	Total, años
Precipitación	PT45	Total	1990	2020	31
Caudales	QL15	Medio	2009	2020	12

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

En la **Tabla 6** se presenta las series que se retiraron del análisis climático para la Subzona hidrográfica en esta primera etapa.

Tabla 6. Información disponible

Variable climática	Sigla	TR	Series iniciales	Series Final
Precipitación	PT	Total	18	17
Caudales	QL	Medio	10	10

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.4 Precipitación

La precipitación se puede definir como el resultado sólido (en forma de granizo o nieve) o líquido (en forma de lluvia) de la condensación del vapor de agua que es liberado por el aire o por las nubes cuando llegan a un punto de saturación. Este producto se deposita en el suelo y produce diferentes fenómenos como la infiltración o la escorrentía. Posteriormente, el ciclo hidrológico continúa y el agua vuelve a la atmósfera por procesos de evaporación y transpiración. Este es uno de los parámetros de clima más definitivo, debido a que es el controlador principal del ciclo hidrológico, así como de la naturaleza del paisaje y del uso del suelo.

4.4.1 Precipitación total

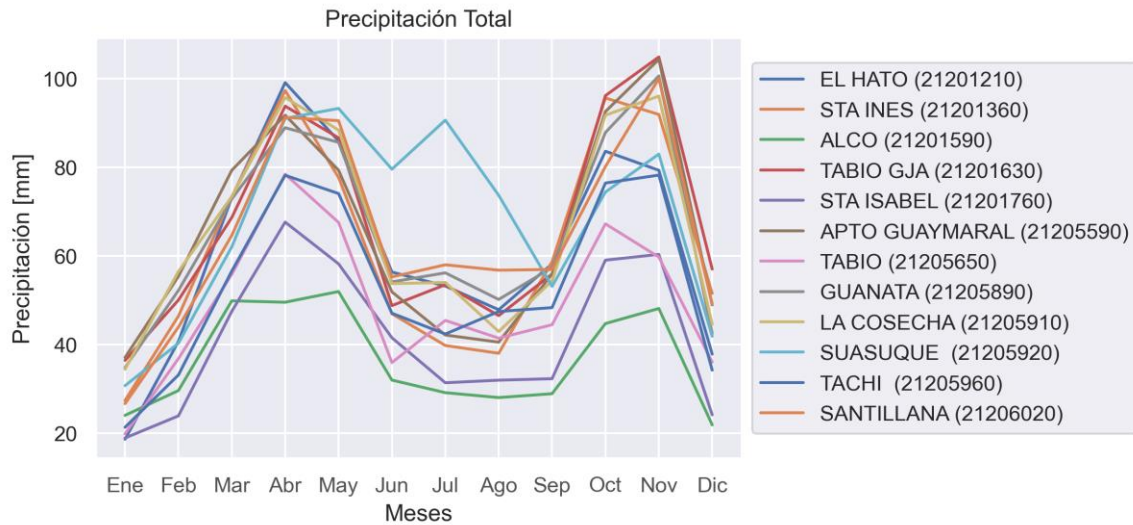
Para el análisis de la Precipitación Total se contó con 12 estaciones con registros para el periodo 1990-2020. A nivel anual, el promedio de las 12 estaciones disponibles es de 697.8 mm, con un valor máximo de 813.7 mm reportado en la estación de SUASUQUE (21205920) y un valor mínimo de 437.8 mm reportado en la estación de ALCO (21201590). El promedio mensual más bajo es de 18.6 mm y se presenta en el mes de enero para la estación de EL HATO (21201210), mientras que el promedio mensual más alto es de 104.9 mm que se presenta en el mes de noviembre en la estación de TABIO GJA (21201630). En la **Tabla 7** se presenta la Precipitación Total mensual promedio multianual. La variación temporal de la Precipitación Total se presenta en la **Figura 7**.

Tabla 7. Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2020]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Year
El Hato (21201210)	18.6	40.7	73.1	99.1	86.0	56.4	53.2	47.9	58.2	83.6	79.3	37.8	734.0
Sta Inés (21201360)	27.4	46.4	73.4	97.3	77.7	46.9	39.8	38.0	58.7	95.6	91.9	51.5	744.8
ALCO (21201590)	24.0	29.6	49.9	49.6	52.0	32.0	29.1	28.0	28.9	44.7	48.1	21.9	437.8
Tabio Gja (21201630)	36.4	50.0	68.7	93.8	86.6	48.8	53.5	46.5	55.9	96.2	104.9	57.0	798.4
Sta Isabel (21201760)	18.9	23.9	47.5	67.6	58.2	41.5	31.4	32.0	32.3	59.0	60.3	24.1	496.8
Apto Guaymaral (21205590)	37.1	55.4	79.3	91.8	79.4	51.9	42.1	40.5	55.9	92.6	104.4	49.0	779.3
Tabio (21205650)	19.9	36.8	55.9	78.4	67.6	35.9	45.4	41.4	44.5	67.2	59.7	36.1	588.9
Guanatá (21205890)	34.8	52.2	72.9	88.9	85.6	54.1	56.2	50.2	57.4	87.9	100.6	42.5	783.3
La Cosecha (21205910)	34.4	56.5	73.4	95.7	88.4	53.7	54.0	42.9	54.4	91.8	96.1	44.6	785.9
Suasuque (21205920)	30.7	40.3	62.0	91.0	93.3	79.6	90.6	73.7	53.1	74.4	83.0	41.9	813.7
Tachi (21205960)	21.3	33.1	56.6	78.2	74.1	47.1	42.4	47.5	48.3	76.5	78.2	34.2	637.5
Santillana (21206020)	26.7	43.9	64.6	91.3	90.5	55.3	58.0	56.8	57.0	80.2	100.0	49.1	773.4

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 7. Variación temporal de la precipitación total mensual promedio multianual [1990-2020]



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

A continuación, se presenta un pequeño resumen de las tres estaciones más cercanas a las microcuencas objeto de modelación. La Precipitación total anual en la estación GUANATA (21205890) es de 783.3 mm, siendo el valor mensual mínimo de 34.8 mm que se presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 100.6 mm que se presenta en el mes de noviembre, la variación interanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 65.8 mm, con 5 meses (mar, abr, may, oct, nov) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ene, feb, jun, jul, ago, sep, dic) con valores menores al promedio mensual.

La Precipitación total anual en la estación SUASUQUE (21205920) es de 813.7 mm, siendo el valor mensual mínimo de 30.7 mm que se presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 93.3 mm que se presenta en el mes de mayo, la variación interanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 62.6 mm, con 7 meses (abr, may, jun, jul, ago, oct, nov) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 5 meses (ene, feb, mar, sep, dic) con valores menores al promedio mensual.

La Precipitación total anual en la estación SANTILLANA (21206020) es de 773.4 mm, siendo el valor mensual mínimo de 26.7 mm que se presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 100.0 mm que se presenta en el mes de noviembre, la variación interanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 73.4 mm, con 5 meses (mar, abr, may, oct, nov) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ene, feb, jun, jul, ago, sep, dic) con valores menores al promedio mensual.

4.4.2 Precipitación Número de días

Para el análisis de la Precipitación Número de días se contó con 12 estaciones con registros para el periodo 1990-2020. A nivel anual, el promedio de las 12 estaciones disponibles es de 126.2

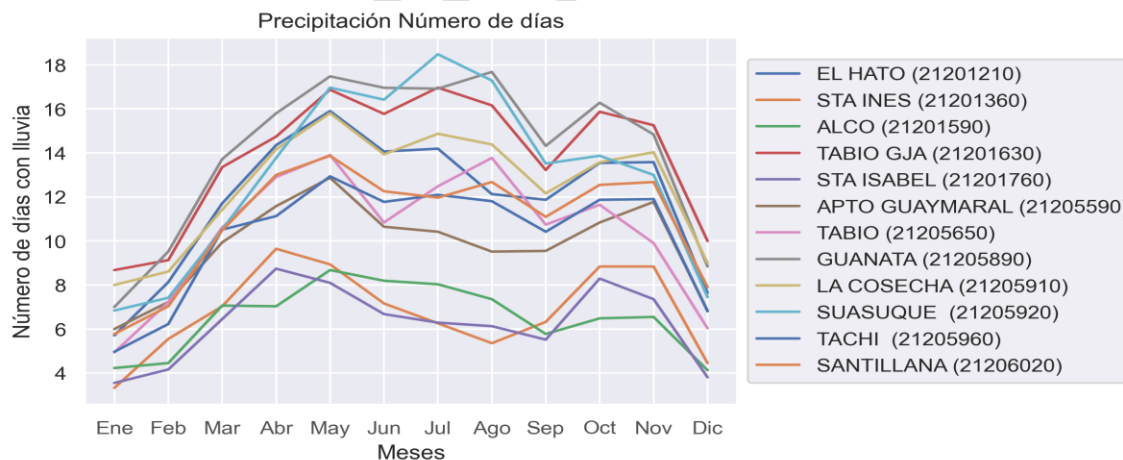
días, con un valor máximo de 169.4 días reportado en la estación de GUANATA (21205890) y un valor mínimo de 75.1 días reportado en la estación de STA ISABEL (21201760). El promedio mensual más bajo es de 3.3 días y se presenta en el mes de enero para la estación de STA INES (21201360), mientras que el promedio mensual más alto es de 18.5 días que se presenta en el mes de julio en la estación de SUASUQUE (21205920). En la **Tabla 8** se presenta la Precipitación Número de días mensual promedio multianual. La variación temporal de la Precipitación Número de días se presenta en la **Figura 8**.

Tabla 8. Precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2020]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Year
El Hato (21201210)	5.7	8.1	11.7	14.4	15.9	14.1	14.2	12.1	11.9	13.5	13.6	7.6	142.8
Sta Inés (21201360)	3.3	5.5	7.0	9.6	8.9	7.2	6.3	5.4	6.3	8.8	8.8	4.5	81.7
ALCO (21201590)	4.2	4.5	7.1	7.0	8.7	8.2	8.0	7.4	5.8	6.5	6.5	4.1	78.0
Tabio Gja (21201630)	8.7	9.1	13.4	14.7	16.9	15.8	17.0	16.2	13.2	15.9	15.3	10.0	166.0
Sta Isabel (21201760)	3.5	4.2	6.5	8.7	8.1	6.7	6.3	6.1	5.5	8.3	7.4	3.8	75.1
Apto Guaymaral (21205590)	6.0	7.2	9.9	11.6	12.9	10.6	10.4	9.5	9.5	10.8	11.8	6.8	117.2
Tabio (21205650)	4.9	7.2	10.6	12.9	13.9	10.8	12.5	13.8	10.7	11.6	9.9	6.0	125.0
Guanatá (21205890)	7.0	9.5	13.7	15.8	17.5	17.0	16.9	17.7	14.3	16.3	14.8	8.8	169.4
La Cosecha (21205910)	8.0	8.6	11.4	14.2	15.8	13.9	14.9	14.4	12.2	13.6	14.0	9.0	150.0
Suasuque (21205920)	6.8	7.4	10.5	13.8	17.0	16.4	18.5	17.3	13.5	13.9	13.0	7.5	155.5
Tachi (21205960)	5.0	6.2	10.5	11.1	12.9	11.8	12.1	11.8	10.4	11.9	11.9	6.8	122.5
Santillana (21206020)	5.8	7.0	10.5	13.0	13.9	12.3	12.0	12.7	11.1	12.5	12.7	7.9	131.3

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 8. Variación temporal de la precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2020]



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.4.3 Precipitación Máxima en 24 horas

Para el análisis de la Precipitación Máxima en 24 horas se contó con 12 estaciones con registros para el periodo 1990-2020. A nivel anual, el promedio de las 12 estaciones disponibles es de 24.9 mm/día, con un valor máximo de 29.4 mm/día reportado en la estación de STA INES (21201360)

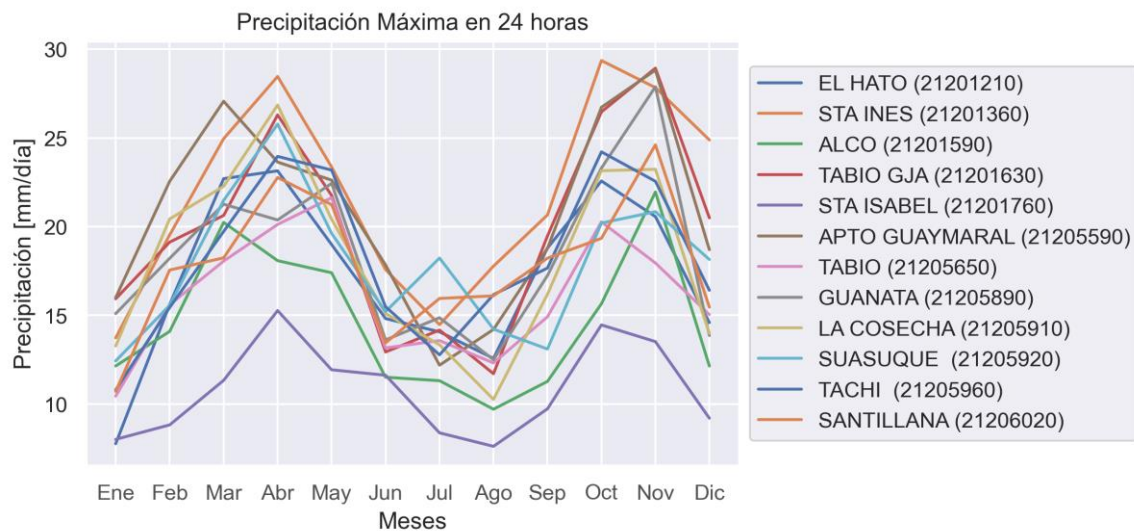
y un valor mínimo de 15.3 mm/día reportado en la estación de STA ISABEL (21201760). El promedio mensual más bajo es de 7.6 mm/día y se presenta en el mes de agosto para la estación de STA ISABEL (21201760), mientras que el promedio mensual más alto es de 29.4 mm/día que se presenta en el mes de octubre en la estación de STA INES (21201360). En la **Tabla 9** se presenta la Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual.

Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2020]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Year
El Hato (21201210)	7.8	15.6	22.7	23.1	19.0	14.8	14.1	12.6	18.8	22.6	20.6	14.6	23.1
Sta Inés (21201360)	13.7	19.5	25.0	28.5	23.4	17.6	14.5	17.8	20.7	29.4	27.8	24.9	29.4
ALCO (21201590)	12.1	14.1	20.2	18.1	17.4	11.5	11.3	9.7	11.3	15.7	21.9	12.1	21.9
Tabio Gja (21201630)	15.9	19.1	20.6	26.3	21.8	12.9	14.2	11.7	19.5	26.5	28.9	20.5	28.9
Sta Isabel (21201760)	8.0	8.8	11.3	15.3	11.9	11.6	8.4	7.6	9.7	14.5	13.5	9.2	15.3
Apto Guaymaral (21205590)	16.0	22.6	27.1	23.6	22.6	17.8	12.2	14.2	18.8	26.7	28.8	18.7	28.8
Tabio (21205650)	10.4	15.6	18.1	20.1	21.6	13.2	13.6	12.3	14.9	20.3	17.9	15.0	21.6
Guanatá (21205890)	15.1	18.2	21.3	20.4	22.4	13.6	14.9	12.5	17.2	23.3	27.9	13.9	27.9
La Cosecha (21205910)	13.3	20.4	22.3	26.9	20.4	15.1	13.3	10.3	16.2	23.1	23.2	14.0	26.9
Suasunque (21205920)	12.4	15.6	21.5	25.8	19.6	15.2	18.2	14.2	13.1	20.2	20.8	18.1	25.8
Tachi (21205960)	10.8	15.4	19.7	24.0	23.2	15.5	12.8	16.2	17.7	24.2	22.6	16.4	24.2
Santillana (21206020)	10.7	17.6	18.2	22.8	21.2	13.5	16.0	16.1	18.2	19.3	24.6	15.5	24.6

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 9. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2020]



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.4.4 Variación espacial de la precipitación en el municipio

Con el fin de espacializar la variación de la precipitación, se interpoló la precipitación total anual y los totales mensuales promedios multianuales sobre el área de estudio, se elaboró un mapa de

isoyetas de precipitación total anual y mensuales usando registros disponibles de 1990 a 2020 utilizando las estaciones mostradas en la **Tabla 3**.

Una vez se depuró la información, se procedió a la generación de tablas, figuras para representar la variación espacial y temporal de los diferentes parámetros analizados. Para la visualización de la variación espacial de los parámetros, esta se interpoló y con esto se pudo apreciar su comportamiento y su relación con otras variables como la topografía. Con el objeto de interpolar valores de los parámetros climáticos de forma espacial, en lugares donde no existe información, se utilizó el método de distancia inversa ponderada (DIP), que es una estimación determinista, donde los sitios sin valor conocido son determinados por una combinación lineal de los valores con datos conocidos. Tiene como suposición que los valores más cercanos al lugar sin registro conocido son más representativos para estimarlo. Según Cooke (1993) el método DIP ha sido utilizado para estimar datos climáticos por NOAA (1972), Kelway (1974) y Legates y Willmont (1990). El método de distancia inversa ponderada (DIP) se describe en la Ecuación 1.

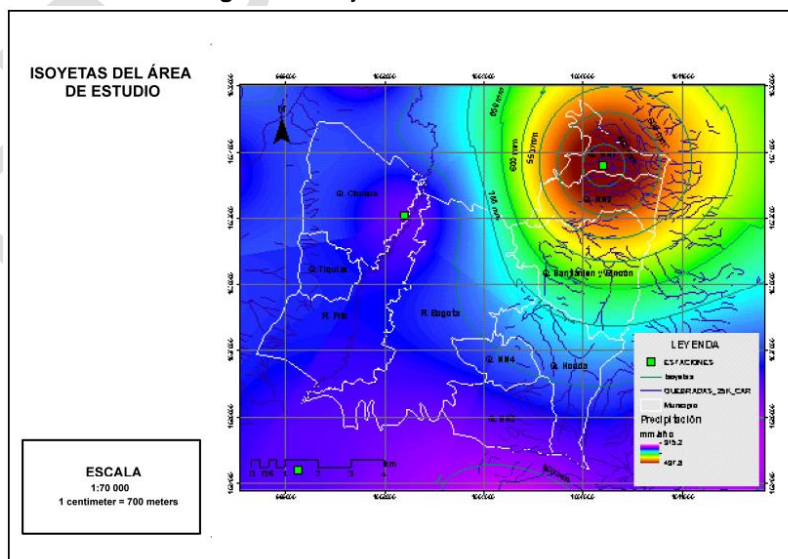
$$Z? = \frac{\sum_{i=1}^m Z_i / D_i^W}{\sum_{i=1}^m 1 / D_i^W}$$

Ecuación 1.

Donde:

- Z?: El valor a ser determinado.
- M: El número de puntos con valor conocido más cercanos a Z?
- D: Distancia entre Zi y Z?
- W: Valor de ponderación.

Figura 10. Isoyetas del área de estudio



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

El valor de W controla la región de influencia de cada una de las regiones con información. Cuando W aumenta la región de influencia decrece. Cuando W es igual a cero el método es idéntico a un simple promedio. Usualmente el valor W es asignado arbitrariamente. Valores de 1.65 y 2 fueron usados por Kelway (1974) y NOAA (1972) respectivamente, para la interpolación de precipitación. En el presente estudio se utilizó un valor W de 2 para la interpolación de todos los mapas. La **Figura 10** muestra las isoyetas de precipitación total anual promedio multianual. De acuerdo con el mapa de Isoyetas elaborado, sobre las cuencas del municipio, el promedio de lluvias anual oscila entre 800 mm/año al sur del municipio a 600 mm/año en la parte norte.

4.4.5 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Se construyeron curvas de intensidad, frecuencia y duración IDF para cada una de las estaciones analizadas que cuentan con registros de precipitación. Estas curvas resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Temez, 1978).

Mediante la construcción de las curvas IDF es posible calcular la intensidad de las tormentas en diferentes duraciones y en varios periodos de retorno. Para su cálculo se utilizó la precipitación máxima en 24 horas anual promedio multianual. Para la obtención de las curvas IDF se utilizó el método propuesto para Colombia por (Vargas & Díaz Grandos, 1998) específicamente para la región Caribe Colombiano, los cuales estuvieron basados en los trabajos de Kothyari y Garde y Bell, estableciendo diferentes ecuaciones que se ajustan al comportamiento de las 5 regiones del país. La ecuación utilizada corresponde a la Ecuación 2 descrita a continuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d$$

Ecuación 2.

Donde:

I = Intensidad

T= tiempo de retorno (años)

t= duración (horas)

M= valor máximo anual de precipitación diaria (mm)

a,b,c,d= coeficientes

Tabla 10. Coeficientes del método de Vargas y Díaz-Granados (1998)

Coeficientes Región Andina	
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Los coeficientes a, b, c y d son producto de las investigaciones del mismo estudio y están generalizados para las diferentes regiones de Colombia, para el caso de este estudio, se utilizan los coeficientes de la región andina presentados en la **Tabla 10**.

A modo de ejemplo, en la **Tabla 11** se presentan los resultados de los valores de intensidades de lluvia para varias duraciones de tormenta y periodo de retorno determinados para la estación GUANATA (21205890).

Tabla 11. Intensidad de precipitación [mm/hora] según periodo de retorno y duración estación Guanatá (21205890)

Duración [Min]	Periodo de retorno [años]												
	2	2.33	4	5	10	15	20	25	30	50	100	250	500
10	76	78	86	90	102	110	115	120	124	136	154	182	206
20	48	50	55	57	65	69	73	76	79	86	98	115	130
30	37	38	42	44	49	53	56	58	60	66	75	88	100
40	31	31	35	36	41	44	46	48	50	55	62	73	83
50	26	27	30	31	35	38	40	42	43	47	53	63	71
60	23	24	26	28	31	34	35	37	38	42	47	56	63
70	21	22	24	25	28	30	32	33	34	38	43	50	57
80	19	20	22	23	26	28	29	30	31	35	39	46	52
90	18	18	20	21	24	26	27	28	29	32	36	43	48
100	17	17	19	20	22	24	25	26	27	30	34	40	45
110	16	16	18	18	21	23	24	25	26	28	32	37	42
120	15	15	17	17	20	21	22	23	24	26	30	35	40

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.5 Caudales Medios

De acuerdo con el inventario de estaciones, el río Frío tiene la estación Puente Calamar cuyas principales características se presentan en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Características de estación hidrométrica

Código	Cat	Nombre	Corriente	Depto	Mpio	Fecha_inst	Fgda	Altitud	Latitud	Longitud
21209250	LM	PTE CALAMAR	FRIO	CUNDINAMARCA	TABIO. HYE	1994-06-15	CAR	2595	4.96	-74.08

Fuente: CAR.

Como se indicó, para el análisis del Caudal se contó con 1 estación con registros para el periodo 2009-2020. Para la estación PTE CALAMAR (21209250), el promedio anual es de 0.6 m³/s, siendo el promedio mensual más bajo de 0.0 m³/s que se presenta en el mes de febrero, mientras que el promedio mensual más alto es de 1.6 m³/s que se presenta en el mes de noviembre. En la **Tabla 13** se presenta la Caudal media mensual promedio multianual.

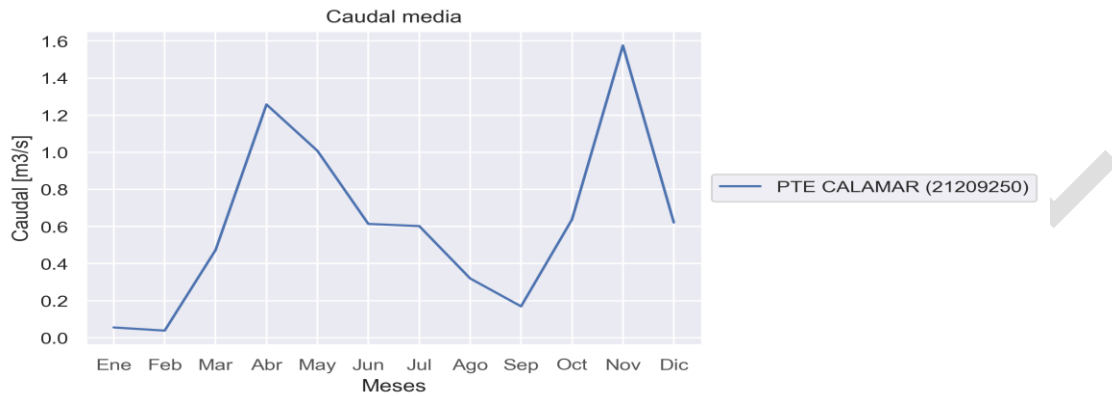
Tabla 13. Caudal media mensual promedio multianual [2009-2020]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Year
PTE CALAMAR (21209250)	0.1	0.0	0.5	1.3	1.0	0.6	0.6	0.3	0.2	0.6	1.6	0.6	0.6

Fuente: CAR.

La variación temporal del Caudal medio mensual se presenta en la **Figura 11** donde se observa claramente un régimen de caudales bimodal con dos periodos de altos caudales en los meses de abril y noviembre y periodos de bajos caudales en los meses de diciembre a febrero.

Figura 11. Variación temporal del caudal media mensual promedio multianual [2009-2020]



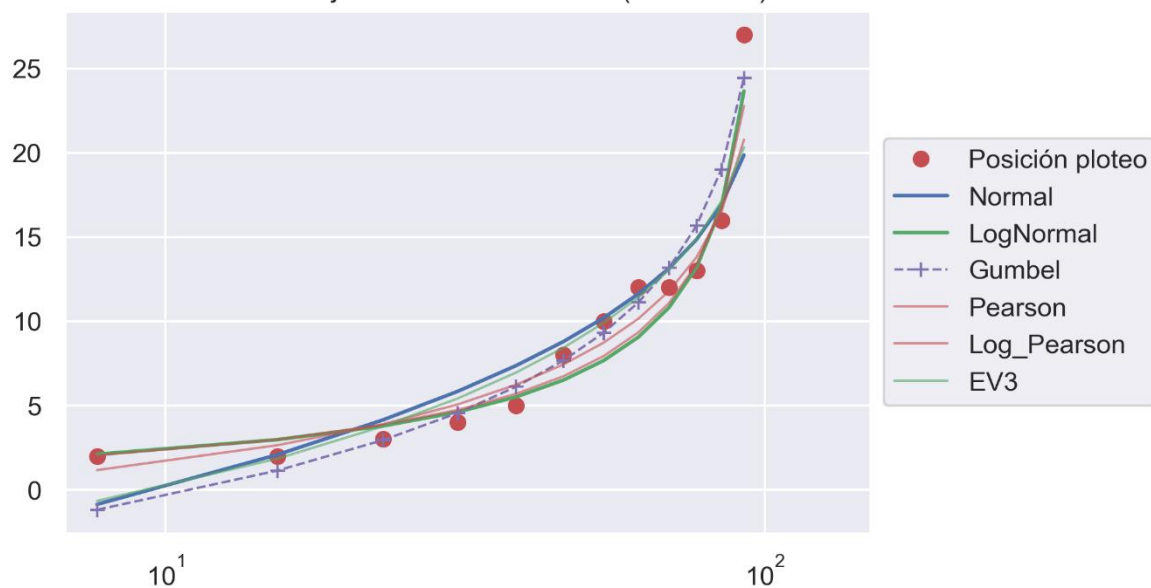
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.6 Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos

Se analizaron los caudales máximos instantáneos anuales de la estación Puente Calamar localizada sobre el río Frío. Los datos históricos fueron ajustados a las distribuciones probabilísticas Normal, Gumbel, Pearson tipo III, Log – Pearson tipo III, Log-Normal y EV3. Adicionalmente, se llevó a cabo la prueba estadística de Chi Cuadrado, la cual evalúa la distribución que mejor se ajusta a los datos históricos.

Figura 12. Prueba de Bondad de Ajuste

Bondad de Ajuste: PTE CALAMAR (21209250)



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

En la **Tabla 14** se presentan los resultados de la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno después de aplicar la distribución normal que resultó ser la que mejor se ajustó según la prueba de Bondad de ajuste.

Tabla 14. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno

Punto	Área [Km]	Periodo de retorno												DISTRIBUCIÓN
		2	4	5	10	15	20	25	30	50	100	250	500	
PTE CALAMAR	124.041728	9.5	14.4	15.6	18.8	20.4	21.5	22.2	22.8	24.4	26.4	28.8	30.4	Normal

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.7 Análisis de caudales máximos

4.7.1 Caudales máximos en el río Frío

Teniendo en cuenta que el río Frío cuenta con una estación de medición de caudales en la parte alta de su cuenca. La estimación de caudales a la entrada del municipio consiste en utilizar los registros de caudales disponibles y hacer la transposición al punto de interés utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_c \frac{A_s}{A_c}$$

Ecuación 3

Donde:

Qs= caudal de la cuenca sin información (m³/s).

Qc= caudal de la cuenca con información (m³/s).

As= Área de la cuenca sin información (km²).

Ac= Área de la cuenca con información (km²).

Aplicando la expresión anterior y usando las áreas aferentes a la altura de la estación Puente Calamar y a la entrada del municipio, en la **Tabla 15** se presentan los caudales máximos esperados en el río Frío para diferentes periodos de retorno.

Tabla 15. Caudales máximos río Frío a la entrada del municipio

Punto	Área [Km]	Periodo de retorno												DISTRIBUCIÓN
		2	4	5	10	15	20	25	30	50	100	250	500	
PTE CALAMAR	124.0	9.5	14.4	15.6	18.8	20.4	21.5	22.2	22.8	24.4	26.4	28.8	30.4	Normal
INICIO MUNICIPIO	164.9	12.6	19.1	20.8	25.0	27.1	28.5	29.5	30.3	32.5	35.1	38.3	40.4	

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.7.2 Estimación de caudales máximos

Para la estimación de la amenaza por inundación en el municipio, se estimaron caudales máximos para las principales corrientes en el municipio. La metodología utilizada para la generación de los caudales máximos está basada en el concepto de la Curva Número desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

El método Soil se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal. A partir de la representación de la precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) se obtuvo una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo. El NC igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un NC de 100 representa el escurrimiento total de la precipitación. Los números de curva se aplican para diferentes condiciones de humedad antecedente, siendo la condición II la que corresponde a humedad media del suelo. Si en el momento de producirse la precipitación el suelo se encuentra saturado de acuerdo con lluvias precedentes en el período de 5 días anteriores, se supone un aumento de la escorrentía (condición III); por el contrario, si el suelo está seco la infiltración será predominante (condición I).

La Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR en Convenio con la universidad de Pamplona elaboró la actualización y complementación de la oferta hídrica superficial para cuencas hasta quinto orden para la jurisdicción de la CAR, dicho estudio generó para los suelos de la jurisdicción los valores de la curva número, la determinación del complejo de suelo hidrológico se establece en términos de dos variables principales: (i) el tipo de suelo mediante el cual se fijan las condiciones de infiltración sub superficial incidente en la escorrentía superficial en forma directa y por tanto la condición hidrológica del suelo se ajusta a los conceptos de tipo agrológico. (ii) la cobertura vegetal, según la cual las plantas también ejercen una fuerte influencia en la escorrentía directa no solamente en su interpretación hipotética de un coeficiente de escorrentía sino también en la capacidad de planta para absorber agua en los periodos húmedos. Esta interacción permite determinar en forma empírica una primera aproximación al valor del CN para las condiciones hidrológicas promedio a nivel local.

Tomando como base este estudio se tomaron valores ponderados de la curva número para condiciones húmedas en la cuenca con valores cercanos a 80, se presenta el mapa de curvas número para Cundinamarca enfocado a la cuenca estudiada.

Por otro lado se efectuó el análisis de los tipos de suelo existentes en la cuenca con base en la cartografía IGAC tipos de suelo escala 1:25.000, dicho análisis arrojó que la cuenca presenta suelos tipo B es decir son suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con ratas de transmisión de agua moderada y suelos con infiltración lenta cuando es encuentran muy húmedos.

4.8 Modelo hidrológico implementado para la estimación de caudales máximos

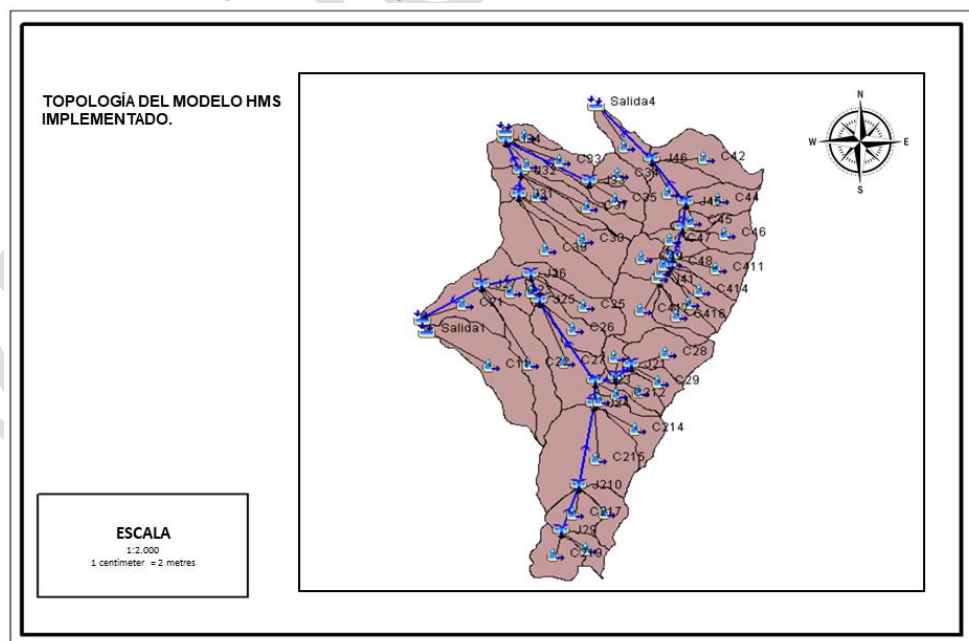
El sistema de modelación hidrológica HEC – HMS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y es una evolución del modelo HEC-1 desarrollado por el mismo ente. Es un modelo de simulación de evento único de Lluvia-Escorrentía. Tiene la capacidad de simular eventos históricos, eventos en tiempo real o tormentas generadas en forma sintética.

El programa está conformado por una interfaz gráfica, componentes integrados de análisis hidrológico, almacenamiento de datos, herramientas de manejo, ayudas gráficas y reportes. En su desarrollo se utilizó una combinación de los lenguajes de programación C, C++ y FORTRAN. El motor de cálculo y la interfaz gráfica de usuario están escritos en el lenguaje orientado a objetos C++. Los algoritmos correspondientes a las rutinas de modelación hidrológica fueron desarrollados en FORTRAN. Este modelo permite efectuar el modelo lluvia escorrentía mediante diferente metodologías de transformación, estimación de pérdidas, determinación de flujo base, tránsitos de flujo entre otros.

Para este caso en particular se ha seleccionado como método de estimación de pérdidas, el de la curva número SCS, como método de transformación se ha optado por el del hidrograma unitario de SCS, como se ha tomado toda la cuenca desde su nacimiento no se asignará valor al flujo base. A continuación se presentan los valores asumidos para el modelo y las imágenes con los resultados arrojados por el modelo para cada uno de los escenarios propuestos en las quebradas.

4.8.1 Topología del modelo para cauces analizados a escala 1:2.000

Figura 13. Topología del MODELO HMS implementado



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

La **Figura 13** muestra la topología usada para la estimación de caudales máximos para las cuencas de las quebradas Santiamén y el Rincón. Se dividió el área de estas cuencas en áreas más pequeñas para determinar caudales máximos que consideren la variación espacial de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y pendientes.

Con los parámetros morfológicos e hidrológicos obtenidos y evaluados para cada drenaje se estructuró el modelo correspondiente en Hec Hms, en donde se generaron las hidrógrafas para los periodos de retorno entre 2.33, 50 y 100 años.

El área de la quebrada Honda se subdividió en 19 microcuencas, la quebrada Santiamén en 9 micorcuencas y la quebrada El Rincón se subdividió en 17 para un total 45 microcuencas, mientras que la Chucua de Fagua se subdividió en 9 microcuencas.

4.8.2 Morfometría de cuencas y tiempo de rezago

Los índices morfométricos de cada una de las áreas aferentes identificadas en las cuencas del municipio, como área, longitud del cauce principal, longitud de la cuenca, pendiente del cauce principal, se calcularon con base en la información del Modelo Digital de Elevación (MDE) dispuesto por el municipio.

A partir de la información morfométrica, se determina el tiempo de rezago que corresponde al tiempo comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. En la **Tabla 16** se presentan los resultados de los índices morfométricos requeridos para la estimación de caudales máximos. En la **Tabla 17** se presenta la morfometría de las diferentes microcuencas en las que se discretizó el área de las quebradas Honda, Santiamén y Rincón.

Tabla 16. Morfometría usada en modelo HMS Chucua de Fagua

Nombre	Ac	Pc	Lx	Lcp	Hmax	Hmed	Hmin	Smed	Tlag	Tc	Scn	CODIGO_CAT
C1	4.1	11.8	3.7	4.5	2882.0	2612.9	2552.0	20.0	76.9	128.1	13.1	21205890
C2	2.4	8.8	3.0	0.0	2575.0	2559.9	2548.0	4.0	100.3	167.1	7.8	21205890
C3	0.6	4.2	1.6	0.0	2809.0	2601.0	2553.0	15.6	37.5	62.5	8.5	21205890
C4	1.6	6.6	2.1	0.0	2815.0	2603.0	2555.0	21.2	47.3	78.8	10.1	21205890
C5	0.5	3.7	1.2	0.0	2565.0	2558.3	2550.0	3.6	47.6	79.3	8.3	21205890
C6	1.0	5.8	1.9	0.0	2575.0	2560.3	2550.0	4.2	65.7	109.4	8.3	21205890
C7	0.0	0.9	0.3	0.0	2554.0	2550.3	2547.0	3.7	16.1	26.8	8.3	21205890
C8	0.8	5.1	1.8	1.8	2566.0	2554.7	2545.0	4.7	64.1	106.8	8.3	21205890
C9	0.7	5.0	1.6	0.7	2567.0	2555.6	2546.0	4.1	57.7	96.2	4.8	21205890

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Tabla 17. Morfometría usada en modelo HMS quebradas Honda, Santiamén y Rincón

Nombre	Ac	Pc	Lx	Lcp	Hmax	Hmed	Hmin	Smed	Tlag	Tc	Scn	CODIGO_CAT
C31	0.1	1.8	0.8	0.2	2643.0	2573.8	2556.0	11.4	22.8	38.0	8.2	21205890
C41	0.3	2.8	1.2	1.1	2832.0	2752.4	2632.0	24.7	29.7	49.5	8.2	21205890
C42	0.5	3.6	1.4	0.9	3070.0	2906.2	2793.0	21.7	32.0	53.3	13.6	21205890
C32	0.3	3.9	1.7	0.5	2810.0	2614.7	2554.0	17.7	38.5	64.1	7.7	21205890
C33	0.2	2.8	1.2	0.8	2757.0	2670.3	2560.0	21.4	28.5	47.5	7.9	21205890
C34	0.2	2.2	0.8	0.0	2855.0	2783.0	2739.0	18.7	21.3	35.4	7.3	21205890
C35	0.2	2.1	0.8	0.4	2884.0	2816.2	2746.0	18.1	22.1	36.9	7.2	21205890
C36	0.3	4.1	1.8	0.3	2855.0	2662.2	2561.0	21.8	39.0	65.1	6.8	21205890
C43	0.5	3.5	1.2	0.8	2988.0	2849.4	2793.0	18.2	28.9	48.1	8.7	21205890
C44	0.3	2.4	0.9	0.1	3055.0	2969.8	2841.0	28.4	22.4	37.3	17.8	21205920
C37	0.3	3.7	1.6	0.0	2912.0	2776.6	2565.0	21.9	35.3	58.9	6.7	21205890
C38	0.5	3.9	1.7	1.0	2935.0	2812.8	2597.0	20.7	35.9	59.8	6.3	21205890
C45	0.1	2.3	0.7	0.3	3004.0	2898.6	2842.0	29.2	17.1	28.4	10.3	21205920
C46	0.3	2.6	0.9	0.0	3030.0	2975.6	2862.0	17.3	22.7	37.8	11.5	21205920
C47	0.2	2.0	0.8	0.4	2954.0	2883.6	2851.0	18.8	21.7	36.2	8.3	21205920
C39	0.8	4.5	1.8	1.3	2936.0	2760.3	2591.0	22.1	39.5	65.9	6.3	21205890
C48	0.0	1.3	0.5	0.1	2931.0	2878.5	2863.0	13.7	16.0	26.6	8.3	21205920
C49	0.3	2.2	0.7	0.0	2921.0	2890.0	2864.0	10.6	21.4	35.7	7.5	21205920
C410	0.0	0.3	0.1	0.0	2867.0	2866.2	2865.0	4.3	6.3	10.5	8.3	21205920
C411	0.3	2.7	1.0	0.0	3011.0	2961.2	2864.0	15.6	25.1	41.8	8.3	21205920
C412	0.0	0.5	0.2	0.0	2874.0	2870.6	2867.0	5.8	9.7	16.1	8.3	21205920
C413	0.0	0.3	0.1	0.0	2881.0	2875.2	2872.0	8.9	4.6	7.7	8.3	21205920
C414	0.2	2.4	1.0	0.1	3011.0	2951.3	2868.0	16.0	26.0	43.4	8.3	21205920
C415	0.2	2.4	1.0	0.2	3021.0	2948.4	2874.0	16.5	26.1	43.6	8.3	21205920
C23	0.4	3.3	1.0	0.7	2822.0	2730.1	2636.0	24.3	24.9	41.5	6.9	21205890
C24	0.1	1.4	0.5	0.4	2845.0	2792.6	2750.0	23.7	14.7	24.4	6.3	21205890
C25	0.4	3.2	1.4	0.0	2929.0	2872.7	2763.0	16.2	33.9	56.5	6.4	21205890
C416	0.2	2.5	1.0	0.3	3026.0	2943.6	2878.0	15.4	25.2	42.0	8.3	21205920
C417	0.4	4.3	1.4	0.0	3028.0	2916.6	2879.0	10.8	35.4	59.1	8.0	21205920
C21	0.4	3.4	1.1	0.8	2806.0	2641.4	2557.0	26.3	24.7	41.2	8.2	21205890
C26	0.3	2.5	1.0	0.0	2934.0	2882.6	2803.0	16.0	26.7	44.5	6.3	21205890
C28	0.5	3.1	1.1	0.0	3029.0	2946.0	2899.0	12.2	29.0	48.4	8.3	21205920
C29	0.2	2.0	0.7	0.0	3001.0	2956.9	2899.0	12.9	19.8	33.0	8.3	21205920
C210	0.1	1.9	0.7	0.0	2931.0	2907.0	2886.0	10.7	21.6	36.0	7.8	21205920
C27	0.6	4.0	1.5	1.4	2939.0	2879.1	2799.0	16.1	38.7	64.5	7.1	21205890
C211	0.2	1.8	0.7	0.0	3023.0	2940.5	2886.0	22.4	19.5	32.5	8.3	21205920
C212	0.1	2.4	0.9	0.1	3026.0	2910.6	2878.0	14.8	24.1	40.2	8.3	21205920
C22	0.6	5.2	2.3	1.1	2999.0	2865.0	2639.0	17.4	48.3	80.4	7.8	21205890
C11	0.8	4.9	2.1	1.8	2988.0	2780.2	2560.0	28.0	41.9	69.9	8.3	21205890
C213	0.0	1.3	0.4	0.2	2909.0	2888.6	2880.0	10.0	15.4	25.6	8.3	21205920
C214	0.3	3.0	1.0	0.0	3088.0	2991.4	2885.0	20.1	25.2	42.0	8.3	21205920
C215	1.2	4.8	1.6	1.3	3155.0	2983.8	2882.0	24.1	36.0	60.0	8.3	21205920
C216	0.2	2.5	0.9	0.0	3172.0	3119.0	2981.0	22.4	23.0	38.4	8.3	21205920
C217	0.3	2.2	0.7	0.6	3154.0	3065.6	2976.0	29.9	18.6	31.0	8.3	21205920
C218	0.1	2.0	0.8	0.0	3224.0	3157.9	3075.0	17.1	20.9	34.8	8.3	21205920
C219	0.3	2.4	0.8	0.6	3188.0	3137.0	3065.0	20.8	22.2	37.0	8.3	21206260

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.8.3 Determinación de la lluvia de diseño

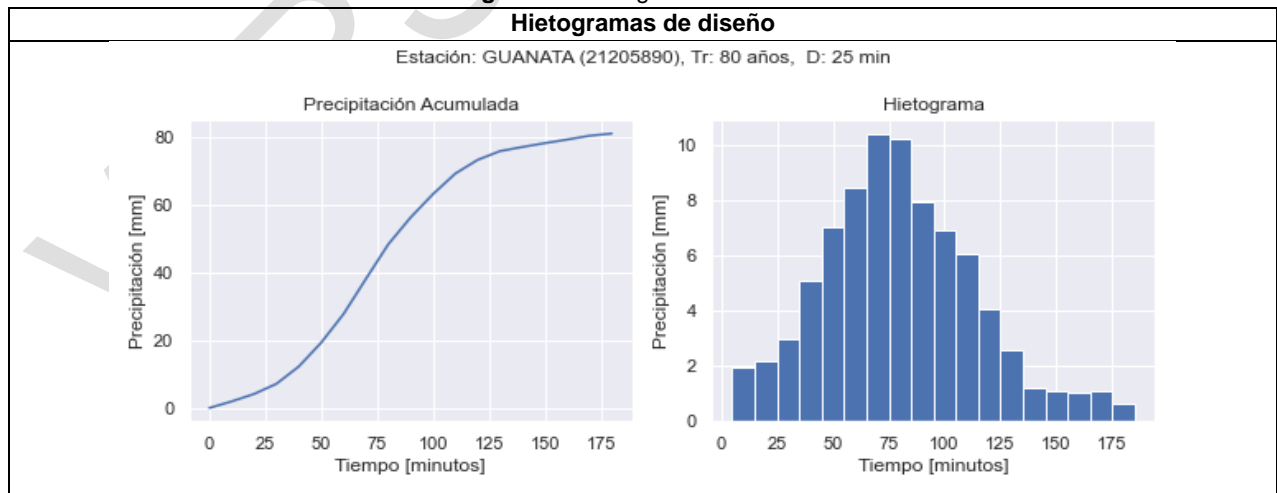
La tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de lámina de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta. Una vez obtenidas las curvas IDF se elaboran los hietogramas, para efectos de los análisis se supondrá que la lluvia de diseño cae en 3 horas. El hietograma de diseño se obtiene utilizando la distribución temporal que se presenta en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Distribución temporal de la tormenta de diseño

Tiempo	Porcentaje	Precipitación acumulada mm
0	0	0
10	5.6	2.4
20	11.1	5.1
30	16.7	8.8
40	22.2	15.1
50	27.8	23.8
60	33.3	34.2
70	38.9	47
80	44.4	59.6
90	50	69.4
100	55.6	77.9
110	61.1	85.4
120	66.7	90.4
130	72.2	93.6
140	77.8	95.1
150	83.3	96.5
160	88.9	97.8
170	94.4	99.2
180	100	100

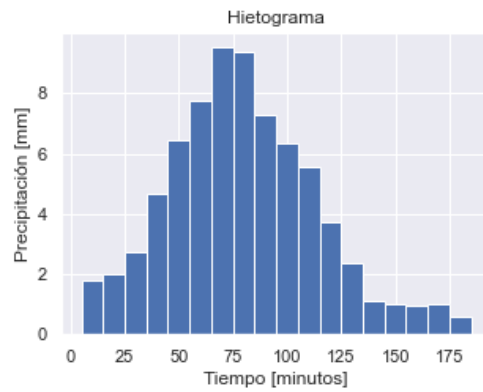
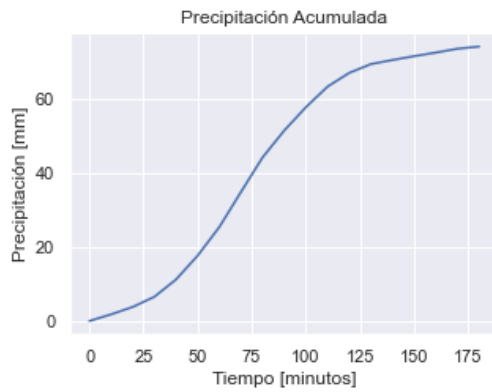
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 14. Hietogramas de diseño

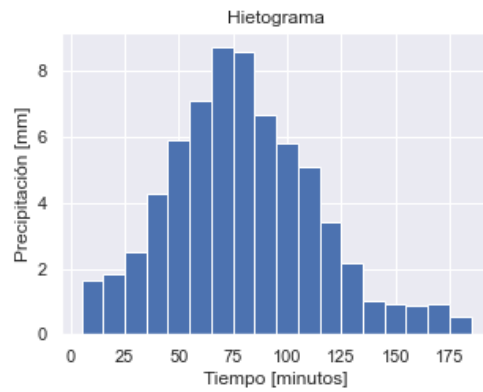
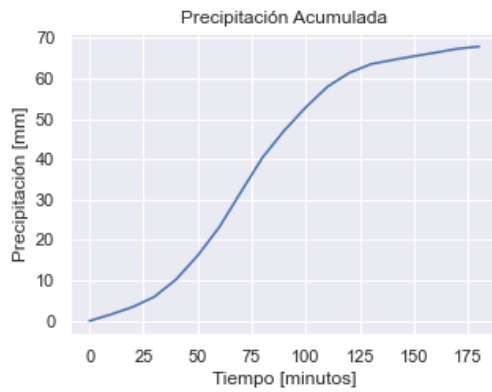


Hietogramas de diseño

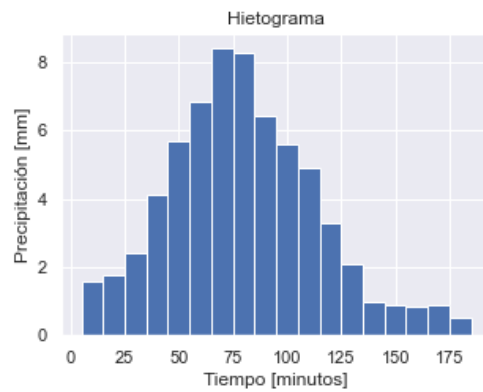
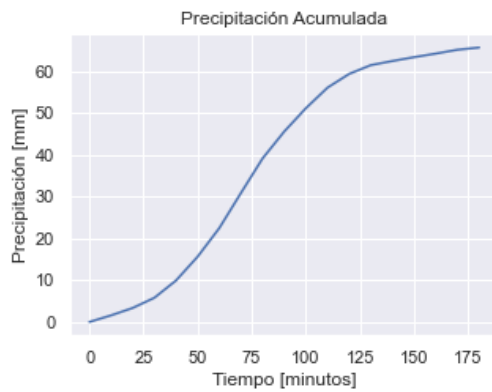
Estación: GUANATA (21205890), Tr: 50 años, D: 25 min



Estación: GUANATA (21205890), Tr: 30 años, D: 25 min

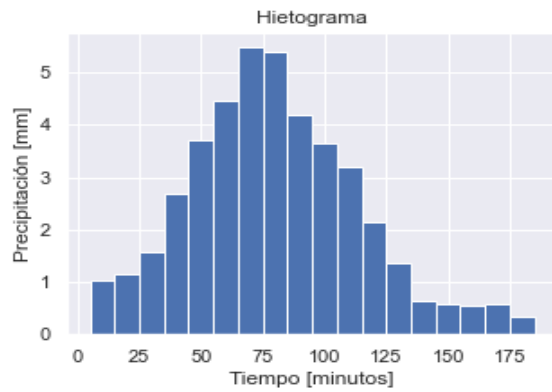
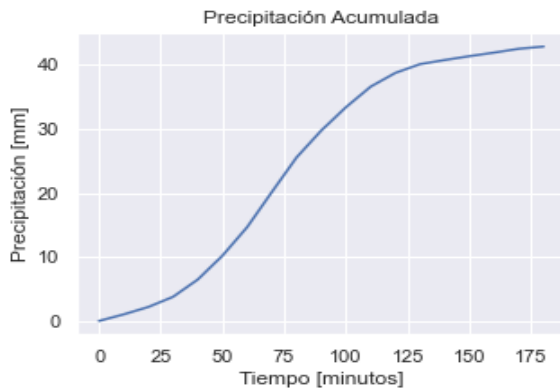


Estación: GUANATA (21205890), Tr: 25 años, D: 25 min

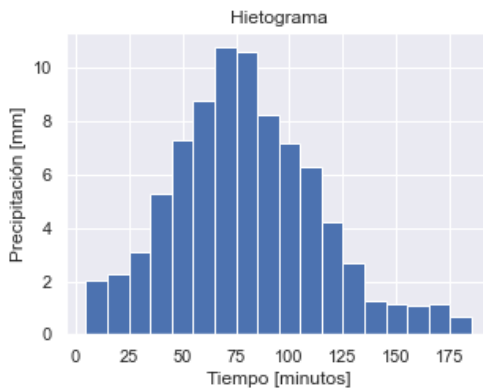
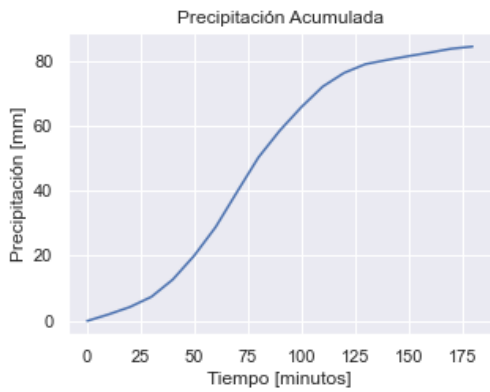


Hietogramas de diseño

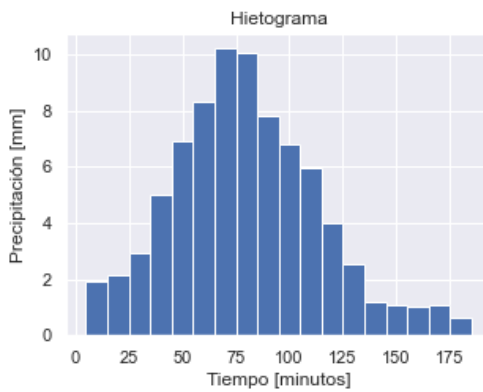
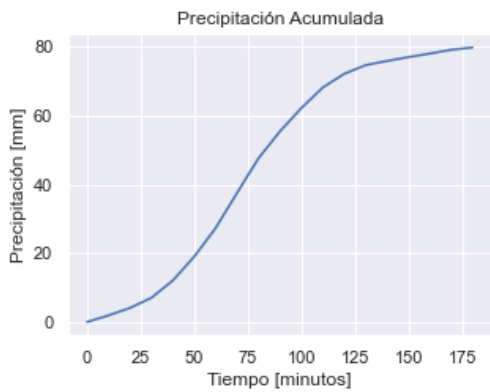
Estación: GUANATA (21205890), Tr: 2.33 años, D: 25 min



Estación: GUANATA (21205890), Tr: 100 años, D: 25 min

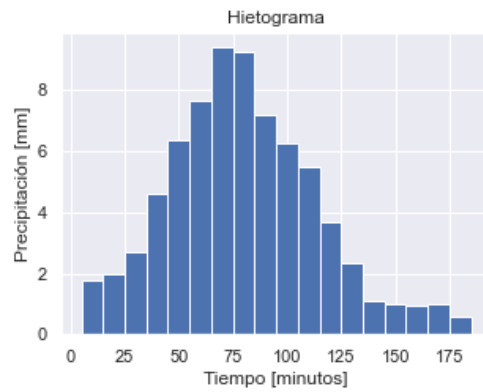
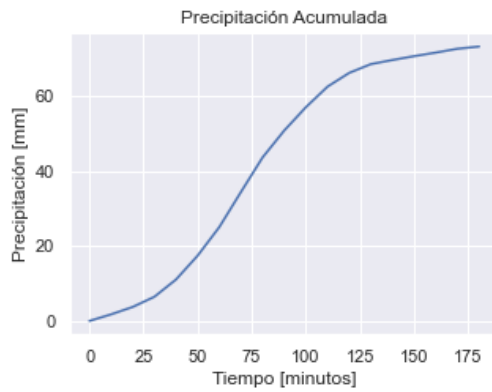


Estación: SUASUQUE (21205920), Tr: 80 años, D: 25 min

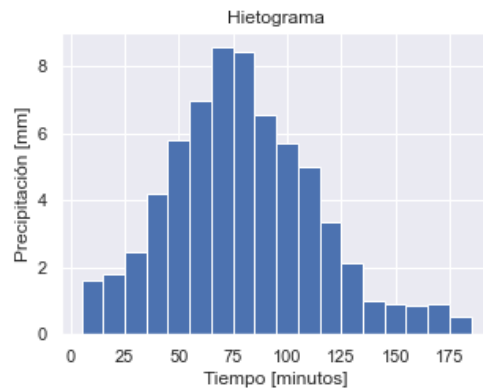
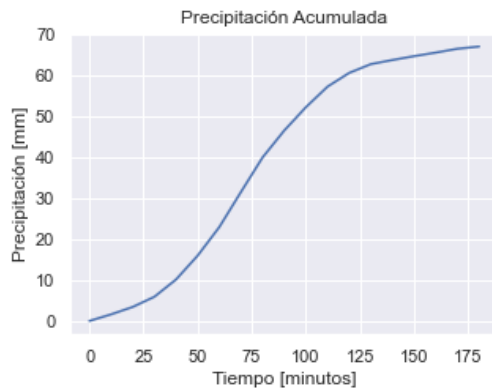


Hietogramas de diseño

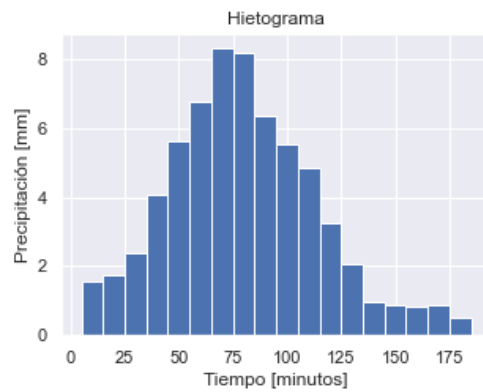
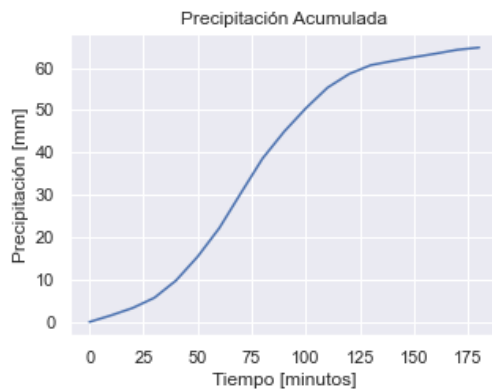
Estación: SUASUQUE (21205920), Tr: 50 años, D: 25 min

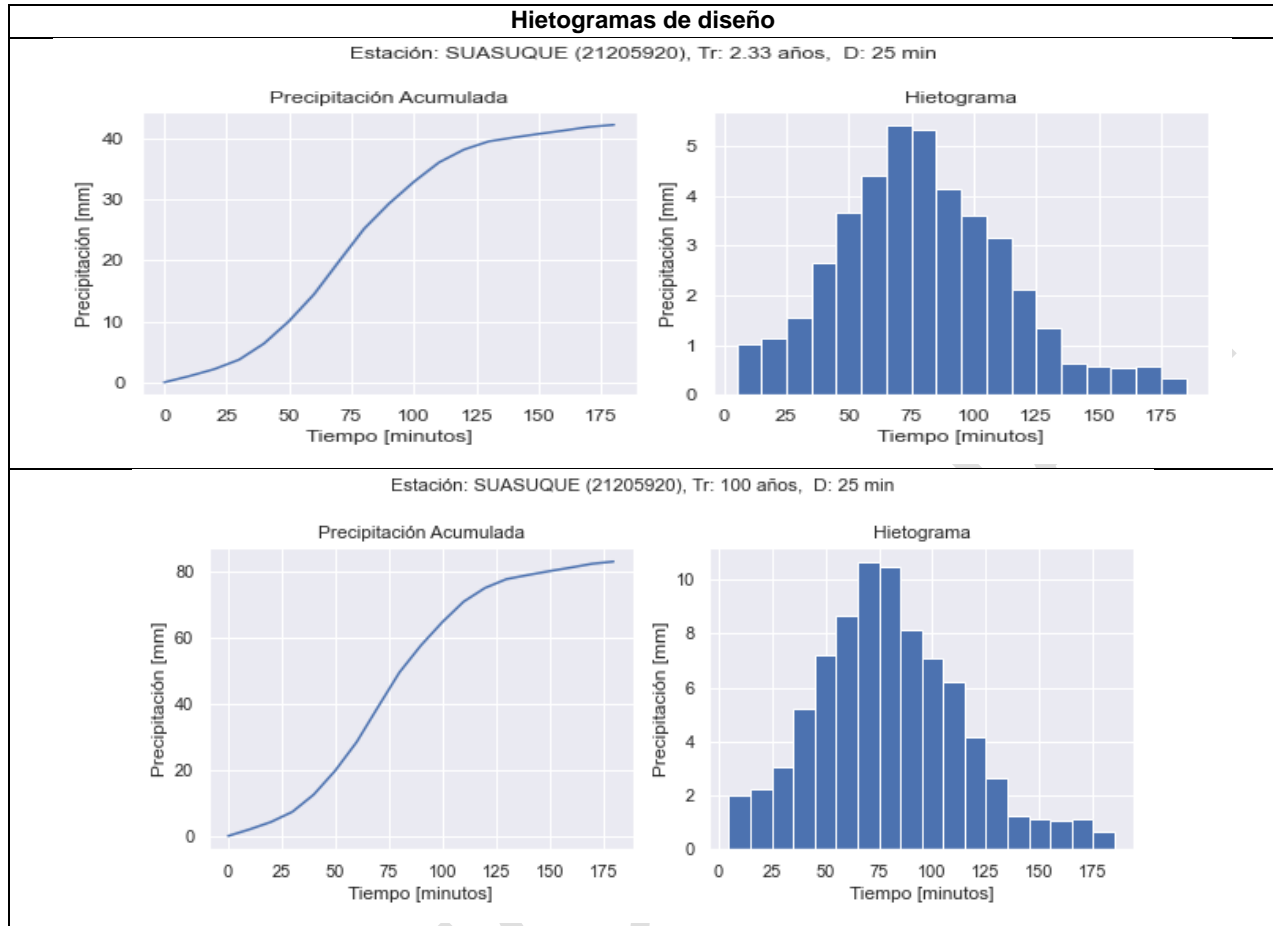


Estación: SUASUQUE (21205920), Tr: 30 años, D: 25 min



Estación: SUASUQUE (21205920), Tr: 25 años, D: 25 min





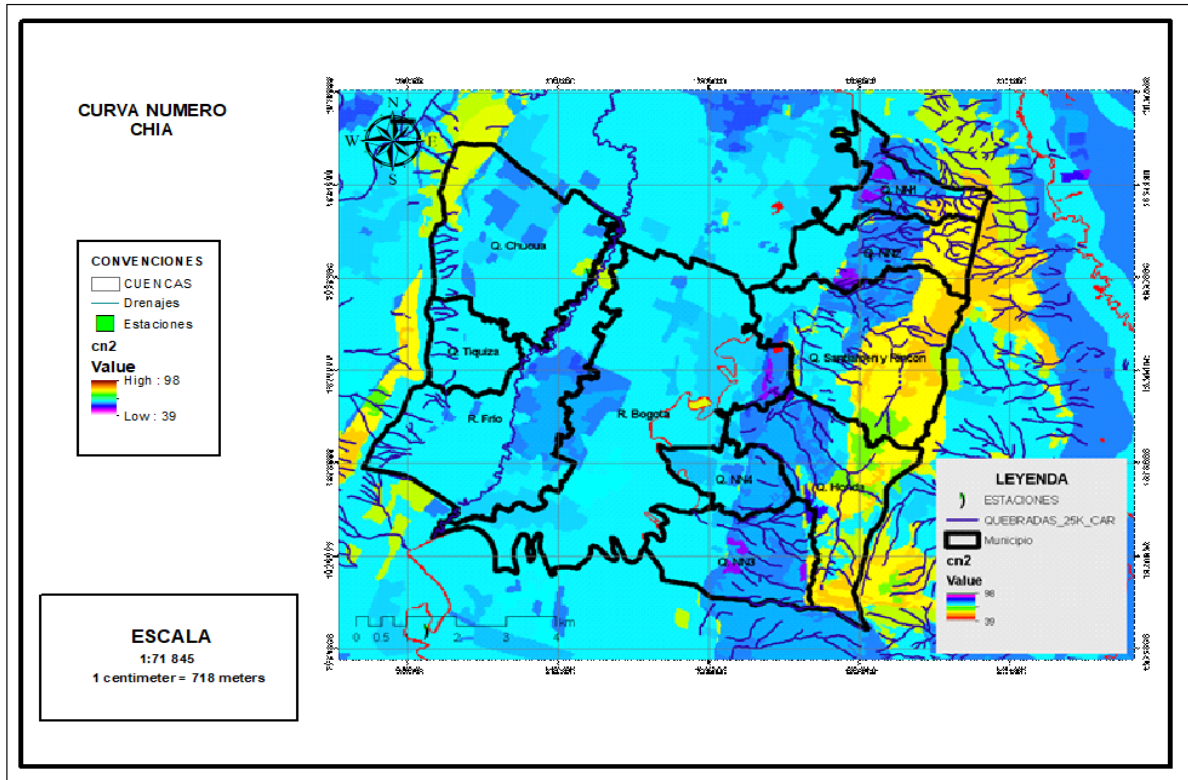
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.8.4 Curva Número

El método del servicio de conservación de suelos de la curva número involucra la determinación del valor de la curva número que tiene el dominio en valores desde 0 a 100 y es función de la textura, la cobertura, tipo de tratamiento superficial que esté presente, de su condición hidrológica y los antecedentes de humedad del suelo que pueda relacionarse con la precipitación en los 5 días anteriores. Entre menor sea el número de curva, más bajo es el potencial de escorrentía.

De acuerdo con el tipo de cobertura vegetal en el área del municipio a la altura de las subcuencas se estimó un valor ponderado del mapa (**Figura 15**), que fue construido a partir de los valores de la **Tabla 19** que presenta los valores de CN con condiciones de humedad AMC II e $la=0.2S$. El valor de CN para cada condición de humedad antecedente es propio de cada cuenca y se obtiene con base en el tipo de suelo y la condición hidrológica que es un indicador de la cobertura vegetal y de la capacidad de infiltración del suelo.

Figura 15. Mapa de Curvas Número



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Tabla 19. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e la=0.2S

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

Descripción del uso de la tierra	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: Método de la curva número

4.8.5 Calibración

De acuerdo con el inventario de estaciones, no existe instrumentación en las corrientes en las cuales se modelaron los caudales máximos, por lo cual para calibrar el modelo se utilizó información previa de otros modelos implementados, para lo cual se tomó el caudal para un periodo de retorno de 100 años como objetivo de la calibración. Se ajustó el parámetro de tiempo de rezago en cada subcuenca. Los tiempos de rezago usados se presentan en la **Tabla 20**. En la **Tabla 21** se presentan los tiempos de rezago usados para el modelo Quebradas Rincón y Santiamén

Tabla 20. Tiempos de rezago usados en el modelo de Chucua de Fagua

Subcuenca	Tiempos rezago [min]
C1	115.3
C2	451.3
C4	212.6
C3	168.7
C6	295.5
C8	288.4
C5	214.1
C7	72.3
C9	259.6

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Tabla 21. Tiempos de rezago usados en el modelo quebradas Rincón y Santiamén

Subcuenca	Tiempos rezago [min]	Subcuenca	Tiempos rezago [min]
C215	126	C26	93.5
C214	88.1	C11	146.8
C46	79.3	C36	136.7
C47	76	C37	123.6
C44	78.3	C411	87.7
C45	59.7	C49	75
C42	111.9	C48	55.9
C43	101	C217	65.1
C41	104	C216	80.7
C39	138.3	C25	118.7
C38	125.6	C24	51.3
C417	124	C34	74.4
C416	88.2	C35	77.5
C415	91.5	C219	77.7
C413	16.2	C218	73.1
C28	101.6	C21	86.6
C29	69.3	C32	134.6
C211	68.3	C33	99.8

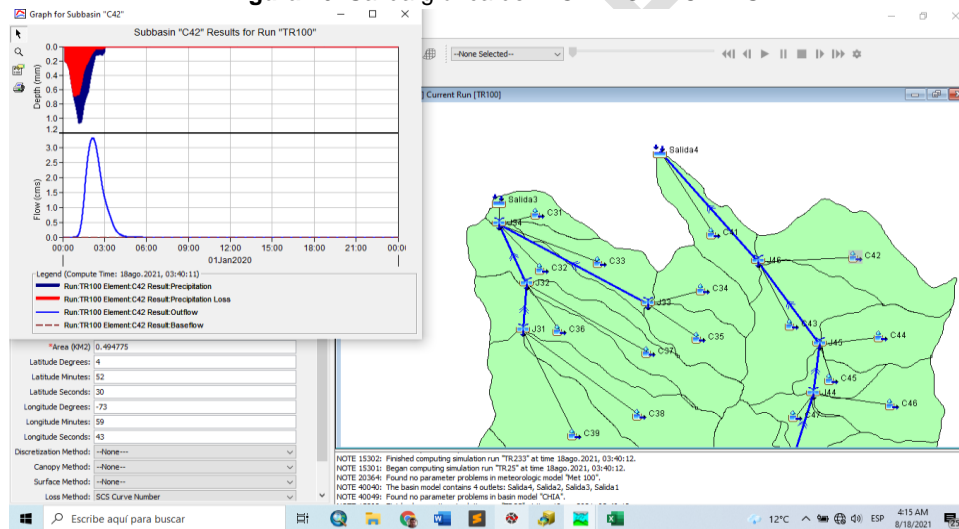
Subcuenca	Tiempos rezago [min]	Subcuenca	Tiempos rezago [min]
C210	75.7	C414	91.2
C212	84.5	C412	33.8
C22	168.9	C31	79.9
C23	87.2	C213	53.7
C27	135.4	C410	22

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

4.8.6 Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos instantáneos

Como resultado de la aplicación del modelo HEC-HMS, se obtuvieron hidrogramas de caudales máximos esperados para periodos de retorno de 2.33 años, 25 años, 50 años, y 100 años. En la **Figura 16** se presenta la salida del modelo para el caudal con periodo de retorno de 100 años. En la **Tabla 22** se presentan los resultados para Chucua de Fagua, para cada una de las subcuencas en las que se discretizó su cuenca y diferentes componentes de esta. En la **Tabla 23** se presenta los resultados para cada una de las microcuencas en las que se discretizó el área de las quebradas Santiamén y quebrada El Rincón.

Figura 16. Salida gráfica del MODELO HEC-HMS



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Tabla 22. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno Chucua de Fagua

Cuenca	Periodo de retorno [años]				Cuenca	Periodo de retorno [años]			
	100	50	25	2.33		100	50	25	2.33
C1	14.11	11.266	8.889	3.508	C9	1.886	1.597	1.345	0.714
C2	3.233	2.673	2.194	1.041	JUNCTION-1	14.661	11.724	9.266	3.692
C3	1.898	1.563	1.276	0.592	JUNCTION-2	5.643	4.612	3.735	1.668
C4	3.873	3.154	2.545	1.116	JUNCTION-3	22.388	18.093	14.475	6.122
C5	1.241	1.025	0.84	0.395	JUNCTION-4	23.844	19.335	15.528	6.701
C6	1.97	1.627	1.333	0.627	REACH-1	14.661	11.724	9.266	3.692
C7	0.237	0.196	0.161	0.076	REACH-2	5.643	4.612	3.735	1.668
C8	1.662	1.369	1.118	0.519	REACH-3	22.388	18.093	14.475	6.122

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Tabla 23. Resultados caudales máximos instantáneos quebradas El Rincón y Santiamén

Cuenca	Periodo de retorno años [m ³ /s]				Cuenca	Periodo de retorno años [m ³ /s]			
	100	50	25	2.33		100	50	25	2.33
C11	3.01	2.49	2.04	0.96	C49	1.63	1.35	1.12	0.54
C21	2.43	2.01	1.65	0.78	J21	3.1	2.57	2.1	0.99
C210	0.91	0.75	0.62	0.29	J210	6.56	5.43	4.47	2.13
C211	1.1	0.91	0.74	0.35	J211	6.56	5.43	4.47	2.13
C212	0.8	0.67	0.55	0.26	J22	4.96	4.1	3.36	1.59
C213	0.32	0.27	0.22	0.1	J23	18.17	15.03	12.34	5.83
C214	1.57	1.3	1.07	0.5	J24	12.28	10.16	8.34	3.95
C215	5.01	4.14	3.39	1.6	J25	21.93	18.17	14.94	7.12
C216	1.41	1.17	0.96	0.45	J26	24.02	19.91	16.38	7.84
C217	1.98	1.64	1.35	0.64	J27	27.65	22.93	18.87	9.06
C218	0.92	0.76	0.62	0.29	J29	3.26	2.7	2.23	1.07
C219	2.34	1.94	1.61	0.78	J31	5.63	4.71	3.92	1.97
C22	1.94	1.6	1.32	0.62	J32	8.51	7.12	5.91	2.96
C23	2.37	1.98	1.64	0.81	J33	2.94	2.45	2.02	0.99
C24	0.78	0.66	0.55	0.28	J34	13.26	11.06	9.16	4.51
C25	1.76	1.47	1.22	0.61	J41	2.97	2.46	2.02	0.95
C26	1.65	1.39	1.16	0.59	J42	1.12	0.93	0.76	0.36
C27	2.41	2.01	1.66	0.81	J43	8.45	6.99	5.74	2.72
C28	2.28	1.88	1.54	0.73	J44	10.72	8.84	7.23	3.37
C29	0.98	0.81	0.67	0.31	J45	12.24	10.04	8.16	3.72
C31	0.78	0.64	0.53	0.25	J46	16.2	13.25	10.74	4.83
C32	1.22	1.01	0.83	0.39	J48	3.94	3.26	2.67	1.26
C33	1.18	0.97	0.8	0.38	REACH-1	3.1	2.57	2.1	0.99
C34	1.51	1.25	1.04	0.51	REACH-10	16.2	13.25	10.74	4.83
C35	1.44	1.2	0.99	0.48	REACH-11	12.24	10.04	8.16	3.72
C36	1.49	1.24	1.03	0.51	REACH-12	10.72	8.84	7.23	3.37
C37	1.41	1.18	0.98	0.49	REACH-13	8.45	6.99	5.74	2.72
C38	2.19	1.83	1.52	0.76	REACH-14	0	0	0	0
C39	3.46	2.9	2.41	1.22	REACH-15	12.28	10.16	8.34	3.95
C41	1.4	1.15	0.95	0.45	REACH-16	3.26	2.7	2.23	1.07
C410	0.04	0.03	0.03	0.01	REACH-17	5.03	4.15	3.41	1.61
C411	1.93	1.6	1.31	0.62	REACH-18	2.97	2.46	2.02	0.95
C412	0.09	0.07	0.06	0.03	REACH-19	18.17	15.03	12.34	5.83
C413	0.05	0.04	0.03	0.02	REACH-2	4.96	4.1	3.36	1.59
C414	1.09	0.9	0.74	0.35	REACH-3	0	0	0	0
C415	1.02	0.84	0.69	0.33	REACH-4	21.93	18.17	14.94	7.12
C416	1.19	0.98	0.8	0.38	REACH-5	24.02	19.91	16.38	7.84
C417	1.92	1.59	1.3	0.62	REACH-6	27.65	22.93	18.87	9.06
C42	1.65	1.31	1.03	0.39	REACH-7	2.94	2.45	2.02	0.99
C43	2.37	1.95	1.59	0.74	REACH-8	8.51	7.12	5.91	2.96
C44	1.03	0.8	0.6	0.2	REACH-9	5.63	4.71	3.92	1.97
C45	0.74	0.6	0.48	0.21	SALIDA1	3.01	2.49	2.04	0.96
C46	1.49	1.2	0.96	0.4	SALIDA2	29.78	24.69	20.32	9.74
C47	0.93	0.77	0.63	0.3	SALIDA3	13.26	11.06	9.16	4.51
C48	0.21	0.17	0.14	0.07	SALIDA4	17.59	14.4	11.69	5.28

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

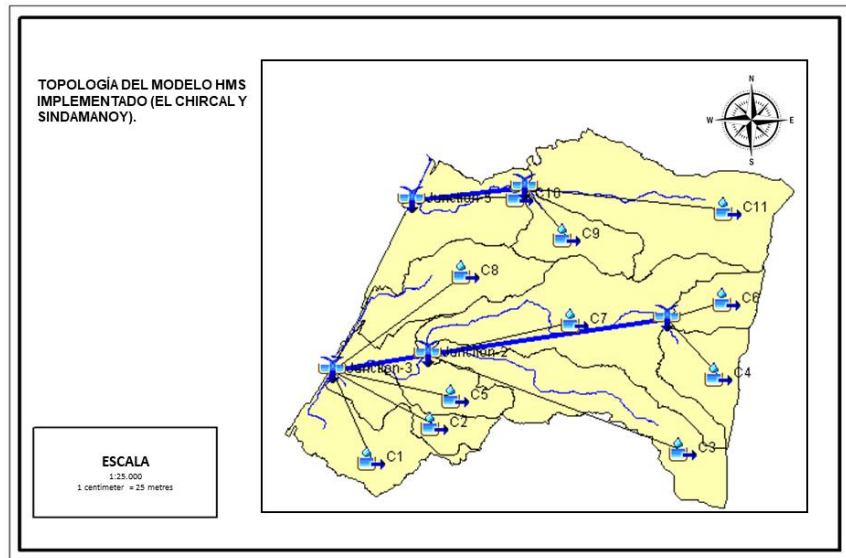
4.8.7 Topología del modelo para cauces analizados a escala 1:25.000

La **Figura 17** y **Figura 18** muestran la topología usada para la estimación de caudales máximos para las cuencas de las quebradas Tíquiza, Sindamanoy y Chircal. Se dividió el área de estas

cuenas en áreas más pequeñas para determinar caudales máximos que consideren la variación espacial de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y pendientes.

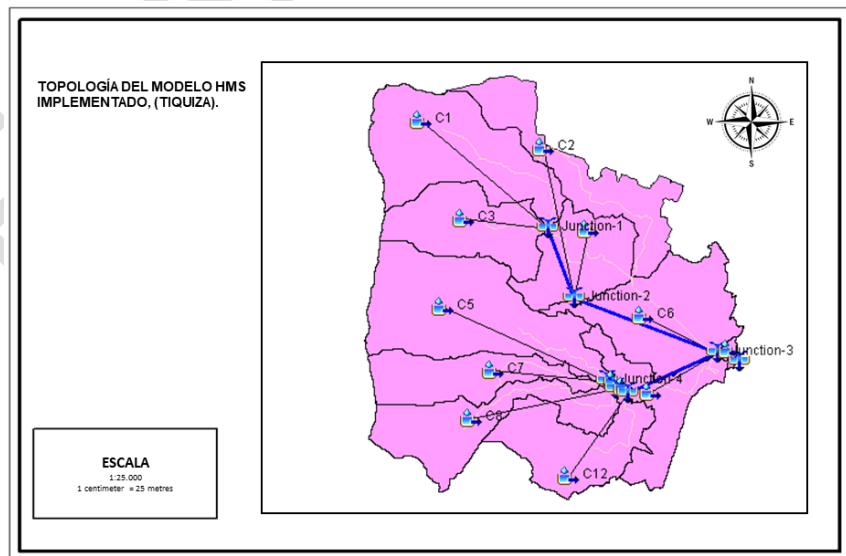
Con los parámetros morfológicos e hidrológicos obtenidos y evaluados para cada drenaje se estructuró el modelo correspondiente en Hec Hms, en donde se generaron las hidrógrafas para los periodos de retorno entre 2.33, 50 y 100 años. El área de la quebrada Tíquiza se subdividió en 13 microcuencas, quebrada Sindamanoy en 9 microcuencas y El Chircal se subdividió en 3 para un total 25 subcuencas.

Figura 17. Topología del MODELO HMS implementado (Quebradas El Chircal y Sindamanoy)



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 18. Topología del MODELO HMS implementado, (Quebrada Tíquiza)



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

4.8.8 Morfometría de cuencas y tiempo de rezago cauces analizados a escala 1:25.000

Los índices morfométricos de cada una de las áreas aferentes identificadas en las cuencas de las quebradas El Chircal, Tíquiza y Sindamanoy, como área, longitud del cauce principal, longitud de la cuenca, pendiente del cauce principal, se calcularon con base en la información del Modelo Digital de Elevación (MDE) generado a partir de productos obtenidos entregados por la Secretaría de Planeación del municipio de Chía con resoluciones de 1 [m]; sobre esta información se trazó la cuenca aferente para el punto evaluado, utilizando herramientas SIG.

A partir de la información morfométrica, se determina el tiempo de rezago que corresponde al tiempo comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. En la **Tabla 24** y **Tabla 25** se presenta la morfometría de las diferentes microcuencas en las que se discretizó el área de las quebradas El Chircal, Tíquiza y Sindamanoy.

Tabla 24 Morfometría usada en modelo HMS quebradas El Chircal y Sindamanoy

Nombre	Ac	Xc	Yc	Cn	Lat	Lon	Tlag	Scn	Codigo_cat
C1	0.42	1007629.5	1032046.9	60	4° 53' 9.597"	-74° 0' 31.402"	17.43	33.0	21205890
C2	0.26	1007931.4	1032260.8	70	4° 53' 16.562"	-74° 0' 21.604"	83.71	21.0	21205890
C3	0.72	1009254.8	1032269.2	80	4° 53' 16.828"	-73° 59' 38.650"	8.86	12.0	21205890
C4	0.30	1010002.0	1032550.0	49	4° 53' 25.968"	-73° 59' 14.396"	11.71	52.0	21205890
C5	0.36	1008061.0	1032502.7	50	4° 53' 24.436"	-74° 0' 17.397"	12.86	50.0	21205890
C6	0.21	1010093.7	1033001.8	70	4° 53' 40.673"	-73° 59' 11.419"	6.00	21.0	21205890
C7	1.04	1009209.3	1032860.0	86	4° 53' 36.063"	-73° 59' 40.123"	24.57	8.0	21205890
C8	0.48	1008217.8	1033118.3	80	4° 53' 44.474"	-74° 0' 12.305"	8.57	12.0	21205890
C9	0.28	1009101.3	1033451.8	88	4° 53' 55.330"	-73° 59' 43.627"	11.43	6.0	21205890
C10	0.50	1008255.7	1033592.1	70	4° 53' 59.899"	-74° 0' 11.072"	30.29	21	21205890
C11	1.00	1009696.7	1033704.3	88	4° 54' 3.545"	-73° 59' 24.301"	9.43	6	21205890

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 25. Morfometría usada en modelo HMS quebrada Tíquiza

Nombre	Ac	Xc	Yc	Cn	Lat	Lon	Tlag	Scn	Codigo_cat
C1	0.40	999829.9	1031212.4	84	4° 52' 42.444"	-74° 4' 44.548"	11.14	10.0	21205890
C10	0.003	1000669.9	1030011.0	85	4° 52' 3.335"	-74° 4' 17.285"	10.00	9.0	21205890
C11	0.27	1000840.2	1029938.5	86	4° 52' 0.972"	-74° 4' 11.758"	47.71	8.0	21205890
C12	0.001	1000421.1	1029738.9	85	4° 51' 54.475"	-74° 4' 25.360"	56.57	9.0	21205890
C13	0.010	1001216.4	1030197.2	84	4° 52' 9.395"	-74° 3' 59.547"	27.71	10.0	21205890
C2	0.26	1000474.7	1031109.3	86	4° 52' 39.088"	-74° 4' 23.621"	15.43	8.0	21205890
C3	0.24	999900.2	1030832.6	81	4° 52' 30.082"	-74° 4' 42.266"	7755.43	9.0	21205890
C4	0.20	1000460.1	1030671.0	86	4° 52' 24.820"	-74° 4' 24.094"	14.57	9.0	21205890
C5	0.33	999889.3	1030400.3	86	4° 52' 16.007"	-74° 4' 42.619"	10.00	10.0	21205890
C6	0.477	1000892.5	1030394.7	92	4° 52' 15.824"	-74° 4' 10.060"	46.86	12.0	21205890
C7	0.010	999856.5	1030076.8	81	4° 52' 5.474"	-74° 4' 43.684"	42.00	8.0	21205890
C8	0.185	999957.7	1029841.6	82	4° 51' 57.820"	-74° 4' 40.398"	57.43	8.0	21205890
C9	0.208	1000614.06	1030045.68	86	4° 52' 4.461"	-74° 4' 19.099"	10.00	8.0	21205890

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

4.8.9 Calibración cauces analizados a escala 1:25.000

De acuerdo con el inventario de estaciones, no existe instrumentación en las corrientes en las cuales se modelaron los caudales máximos, por lo cual para calibrar el modelo se utilizó

información previa de otros modelos implementados, para lo cual se tomó el caudal para un periodo de retorno de 100 años como objetivo de la calibración. Se ajustó el parámetro de tiempo de rezago en cada subcuenca. Los tiempos de rezago usados en el modelo de la quebrada Tíquiza se presentan en la **Tabla 26**. En la **Tabla 27** se presentan los tiempos de rezago usados para el modelo de las quebradas El Chircal y Sindamanoy.

Tabla 26. Tiempos de rezago usados en el modelo de quebrada Tíquiza

Subcuenca	Tiempos rezago [min]
C1	39
C2	167
C3	35
C4	198
C5	97
C6	147
C7	54
C8	51
C9	27144
C10	35
C11	201
C12	164
C13	35

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 27. Tiempos de rezago usados en el modelo de quebradas El Chircal y Sindamanoy

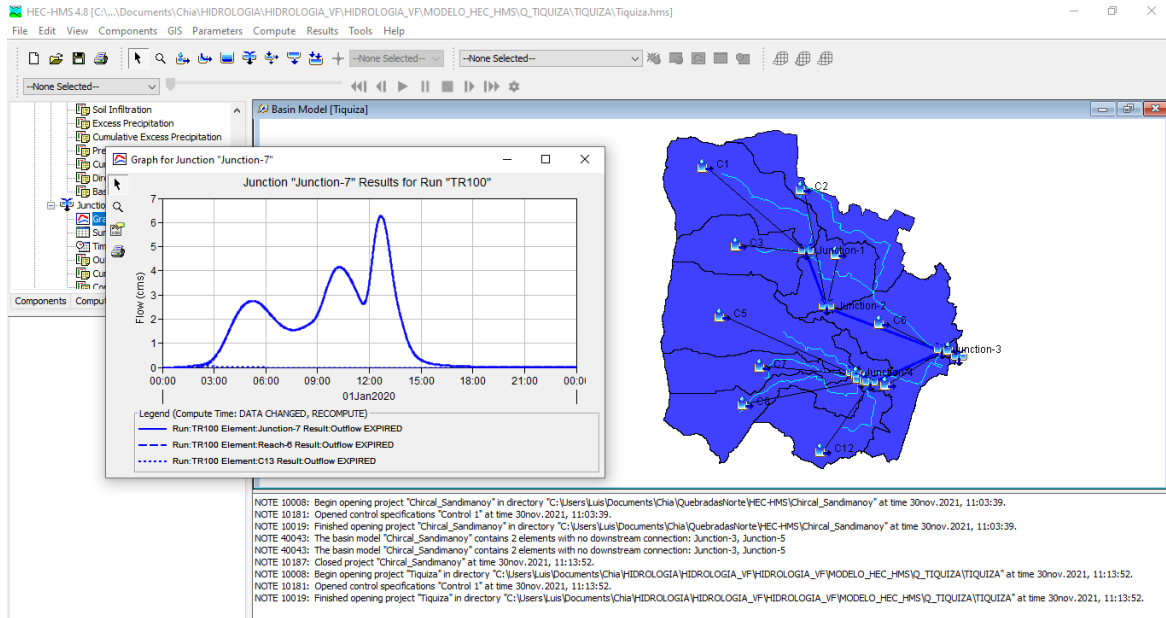
Subcuenca	Tiempos rezago [min]
C1	86
C2	40
C3	293
C4	41
C5	30
C6	45
C7	61
C8	21
C9	33
C10	31
C11	106

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

4.8.10 Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos instantáneos quebradas 1:25.000

Como resultado de la aplicación del modelo HEC-HMS, se obtuvieron hidrogramas de caudales máximos esperados para periodos de retorno de 2.33 años, 25 años, 50 años, y 100 años. En la **Figura 19** se presenta un ejemplo la salida del modelo para el caudal con periodo de retorno de 100 años. En la **Tabla 28** se presentan los resultados para las quebradas El Chircal y Sindamanoy, para cada una de las subcuencas en las que se discretizó su cuenca y diferentes componentes de esta. En la **Tabla 29** se presenta los resultados para cada una de las microcuencas en las que se discretizó el área de la quebrada Tíquiza.

Figura 19. Salida gráfica del MODELO HEC-HMS



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 28. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno (El Chircal Sindamanoy)

Cuenca	Periodo de retorno			
	100	50	25	2.33
C7	1.8	1.2	0.8	0.1
C3	0.7	0.5	0.4	0.1
C10	3.7	3	2.4	1
C4	0.2	0.1	0	0
C6	0.1	0.1	0	0
Junction-4	0.3	0.2	0.1	0
Reach-2	0.3	0.2	0.1	0
Junction-2	1.9	1.3	0.8	0.1
Reach-3 ¹	1.9	1.3	0.8	0.1
C8	2.4	1.9	1.4	0.4
C1	2.4	2	1.6	0.8
C5	2.7	2.2	1.7	0.7
C2	2.4	2	1.7	0.9
Junction-3 ²	8.7	7.1	5.7	2.4
C11 ³	2.3	1.7	1.3	0.4
C9	2.8	2.4	2	1
Junction-1	3.3	2.7	2.2	1
Reach-1	3.3	2.7	2.2	1
Junction-5	5.1	4.2	3.4	1.5

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

¹ Reach: Río (Corresponde a la convención del programa para indicar que este punto corresponde a una salida de flujo y/o caudal)

² Junction: Union (Corresponde a la convención del programa para indicar que este punto corresponde union de varias cuencas)

³ C: Cuenca (Corresponde a la convención del programa para indicar que este punto corresponde a una Cuenca)

Tabla 29. Resultados caudales máximos instantáneos quebrada Tíquiza

Cuenca	Periodo de retorno			
	100	50	25	2.33
C1	3.3	2.7	2.2	1
C3	1.9	1.6	1.3	0.6
Junction-1	5.2	4.3	3.5	1.6
Reach-1	5.2	4.3	3.5	1.6
C2	0.9	0.7	0.6	0.3
C4	0.6	0.5	0.4	0.2
Junction-2	5.6	4.6	3.8	1.7
Reach-2	5.6	4.6	3.8	1.7
C5	1.7	1.4	1.2	0.5
C7	0.1	0.1	0	0
Junction-4	1.8	1.4	1.2	0.5
Reach-3	1.8	1.4	1.2	0.5
C9	0	0	0	0
C8	1.3	1.1	0.9	0.4
Junction-5	2.5	2.1	1.7	0.8
Reach-4	2.5	2.1	1.7	0.8
C10	0	0	0	0
C12	0	0	0	0
Junction-6	2.6	2.1	1.7	0.8
Reach-5	2.6	2.1	1.7	0.8
C6	2	1.7	1.4	0.7
C11	0.8	0.7	0.5	0.3
Junction-3	6.3	5.1	4.2	1.9
Reach-6	6.3	5.1	4.2	1.9
C13	0.1	0.1	0.1	0
Junction-7	6.3	5.1	4.2	1.9

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5. DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN – TIPO DESBORDAMIENTO

5.1 Hidráulica Municipio de Chía

Se desarrolla la hidráulica del río Frío, Chucua de Fagua y las quebradas, Honda, Rincón y Santiamén en el municipio de Chía. Geometría, condiciones de frontera y caudales máximos para periodos de retorno de 2, 25, 50 y 100 años se usaron para modelar la hidráulica a flujo permanente para condiciones de caudales extremos e identificar aquellas zonas vulnerables a inundaciones por desbordamiento. Los caudales de las quebradas en mención se estimaron para el río Frío con mediciones de la estación limnimétrica puente Calamar y modelos hidrológicos de precipitación con morfometría de cuencas y tiempo de rezago para la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén. Los métodos y procedimientos usados para estimar los caudales máximos se describen de forma detallada en el informe hidrológico. Los modelos hidráulicos descritos en este informe incluyen estructuras longitudinales tales como box culvert y tuberías de concreto enterradas que dan continuidad a las quebradas en mención. Adicionalmente se modeló la interacción del río Bogotá adecuado con el río Frío y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén para caudales con periodos de retorno de 2, 25, 50 y 100 años. La geometría y caudales para periodos de retorno 2.33, 25, 50 y 100 años del río Bogotá adecuado en el municipio de Chía se tomó del contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, en

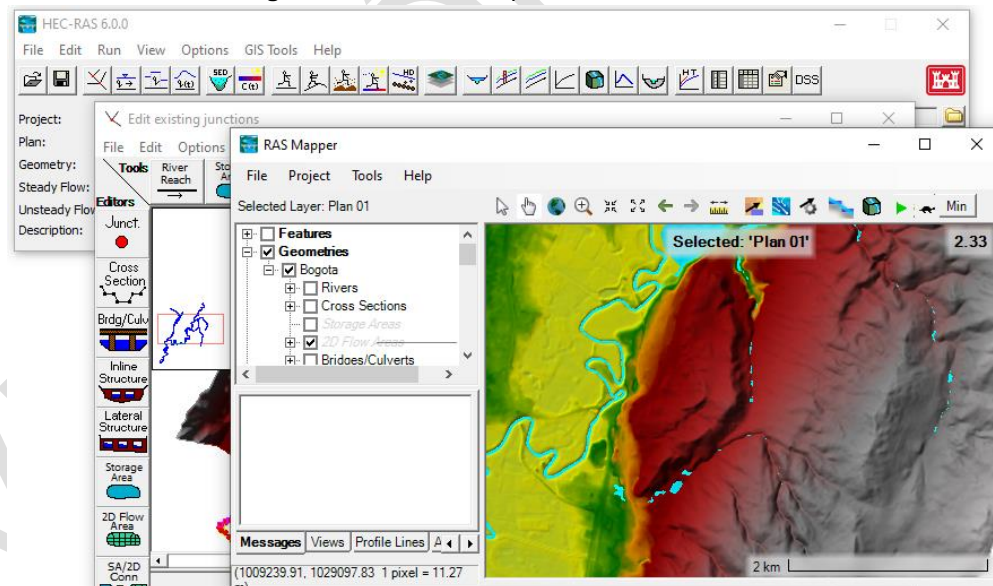
cuyo objeto se incluye la elaboración de los estudios técnicos necesarios para adelantar las obras de adecuación hidráulica de la cuenca alta del río Bogotá en el cauce principal.

Para finalizar se complementa el análisis hidráulico adicionando los modelos hidráulicos de las quebradas Tíquiza, Sindamanoy y El Chircal a una escala mayor (1:25000). Los insumos utilizados para estos análisis difieren debido a que no se emplearon levantamientos topo batimétricos en conjunto con el modelo digital de elevación suministrado por el municipio, por lo cual solo se empleó este MDT para relacionar la morfometría de las cuencas de las quebradas Tíquiza, Sindamanoy y El Chircal y la información hidrológica obtenida anteriormente.

5.1.1 Marco conceptual

El software de análisis hidráulico HEC RAS 6.0 se usó para estimar la hidráulica del río Frío, la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón, Santiamén, Sindamanoy, Tíquiza y Chircal en el municipio de Chía. El *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (HEC - RAS) fue creado por el centro de ingeniería hidrológica del cuerpo de ingeniería de la armada de EE. UU. (*Hydrologic Engineering Center*). HEC – RAS simula la hidráulica con flujo permanente, distribución de presiones en cada sección transversal del canal (líneas de corrientes paralelas), pendiente del canal y línea de energía estimada por medio de ecuaciones de flujo uniforme considerando la pérdida de energía por fricción.

Figura 20. Software computacional HEC-RAS 4.0



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.2 Modelo Hidráulico quebradas 1:2000

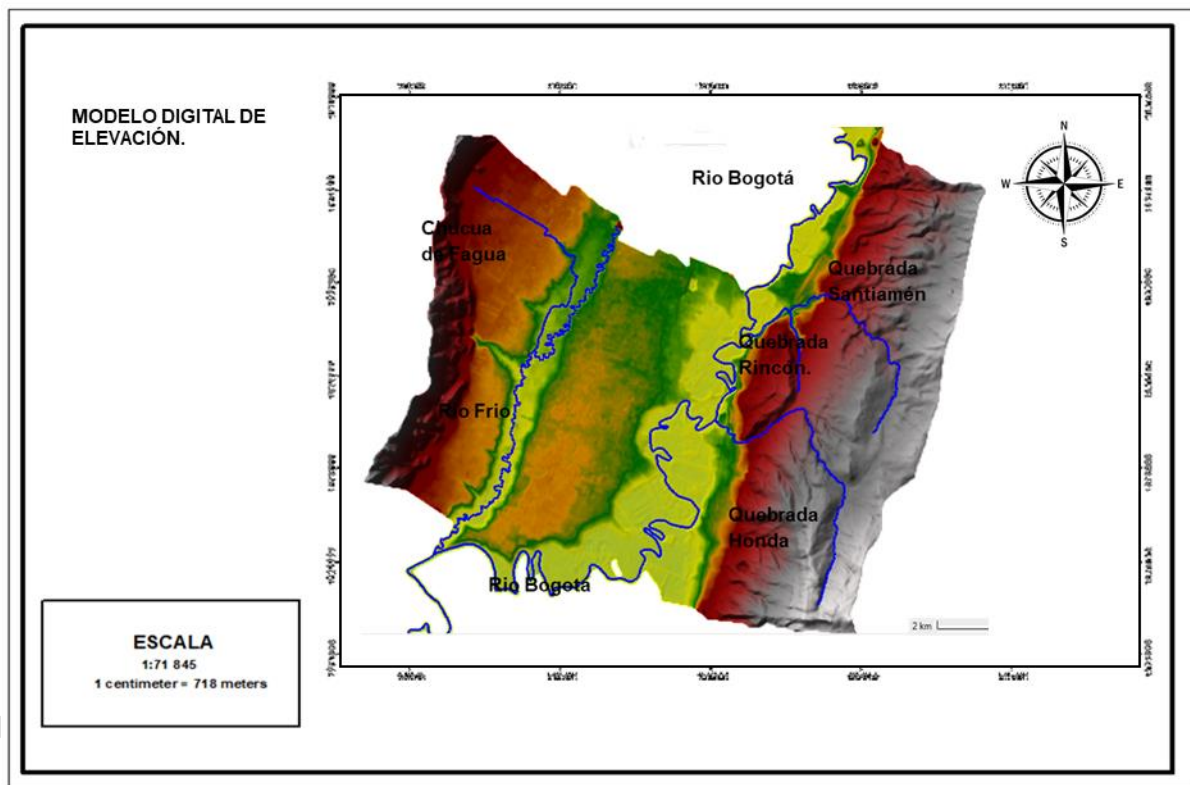
En este capítulo se describen los insumos y procedimientos necesarios para simular la hidráulica del río Frío, la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén, en el software HEC-

RAS. Los insumos necesarios para modelar la hidráulica del río Frío y quebradas Honda, Santiamén y Rincón en el software HEC-RAS son geometría, caudales y condiciones de frontera.

5.1.2.1 Geometría

La geometría del río Frío, la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén se estimó por medio de topobatemétrías cuya distribución se describe en el informe de topografía. Las topobatemétrías del río Frío, Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén se empalmaron con un modelo digital con ancho de píxel de 1 m entregado por el municipio de Chía. La geometría y caudales para periodos de retorno 2.33, 25, 50 y 100 años del río Bogotá adecuado en el municipio de Chía se tomaron del contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. En la **Figura 21** se muestra el modelo digital de elevación empalmado con el río Bogotá adecuado y las topobatemétrías de río Frío, la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén.

Figura 21. Modelo digital de elevación



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.2.2 Rugosidades (n de Manning)

Para la definición del coeficiente de rugosidad de Manning se utilizó el procedimiento desarrollado por Cowan. El coeficiente de Cowan se estima con la Ecuación 4. Los valores típicos de las variables de la Ecuación 4, se muestran en la **Tabla 30**.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Ecuación 4. Coeficiente de rugosidad Cowan.

En donde:

- n_0 : valor básico para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.
- n_1 : valor por efecto de las rugosidades superficiales.
- n_2 : valor que considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal.
- n_3 : valor el cual considera las obstrucciones.
- n_4 : valor para considerar la vegetación y condiciones de flujo.
- m_5 : valor básico relacionado con la meandricidad, para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.

Tabla 30. Variables Cowan

Condiciones del canal		Valores	
Material	Tierra	n_0	0.02
	Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Ligero	n_1	0
	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
Variaciones en la sección transversal del canal	Gradual	n_2	0
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto relativo de Obstáculos	Despreciable	n_3	0
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Grado de sinuosidad	Menor	m_5	1
	Apreciable		1.15
	Severo		1.3

Fuente: 1. Chow, Ven Te. Open - Channel Hydraulics. Tokyo: Mc Graw - Hill, 1959.

Tabla 31. n de Manning

Afluente	Tramo	Abscisa Inicial (km)	Abscisa Final (km)	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n resultante
Río Bogotá	1	k00+000	k40+000	0.02	0.0	0.0	0.0	0.002	1.0	0.022
Río Frío	3	K10+000	k14+305	0.02	0.0	0.0	0.002	0.011	1.15	0.038
	2	K05+000	K10+000	0.02	0.0	0.0	0.0	0.01	1.15	0.035
	1	k00+000	K05+000	0.02	0.0	0.0	0.0	0.011	1.11	0.034
Chucua de Fagua	2	K02+500	K05.520	0.02	0.0	0.0	0.0	0.011	1.12	0.035
	1	k00+000	K02+500	0.02	0.0	0.0	0.0	0.011	1.1	0.034
Honda	2	k01+000	k07+011	0.02	0.0	0.0	0.0	0.012	1.0	0.032
	1	k00+000	k01+000	0.02	0.0	0.0	0.0	0.01	1.0	0.030

Afluente	Tramo	Abscisa Inicial (km)	Abscisa Final (km)	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n resultante
Rincón	2	k01+000	K02+800	0.02	0.0	0.0	0.0	0.012	1.0	0.032
	1	k00+000	k01+000	0.02	0.0	0.0	0.0	0.01	1.0	0.030

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Los n de Manning asociados al cauce de la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén y los ríos Frío y Bogotá se estimaron en tramos con dimensiones y coberturas del cauce similares. En la **Fotografía 1** a **Fotografía 7** se muestran las imágenes usadas para determinar los coeficientes del método de Cowan para cada uno de los tramos de las quebradas y ríos en mención. En la **Tabla 31** se describen los coeficientes de Cowan el n de Manning asociados al cauce de la Chuca de Fagua, las quebradas Honda, Rincón y Santiamén y, los ríos Frío y Bogotá.

- Río Frío

Fotografía 1. Cauce río Frío abscisa k00+00 a k05+000



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Fotografía 2. Cauce río Frío abscisa k05+000 a k10+000



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Fotografía 3. Cauce río Frío abscisa k10+000 a k14+350



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- Chucua de Fagua

Fotografía 4. Cauce Chucua de Fagua abscisa k00+000 a k01+000



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Fotografía 5. Cauce Chucua de Fagua abscisa k01+000 a k02+500



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- Quebrada El Rincón

Fotografía 6. Cauce quebrada El Rincón abscisa k00+00- k01+000



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Fotografía 7. Cauce quebrada El Rincón abscisa k01+00- k02+000



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- Quebrada Honda

Fotografía 8. Cauce Quebrada Honda



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Fotografía 9. Cauce Quebrada Honda



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS.

- Quebrada Santiamén

Fotografía 10. Cauce quebrada Santiamén



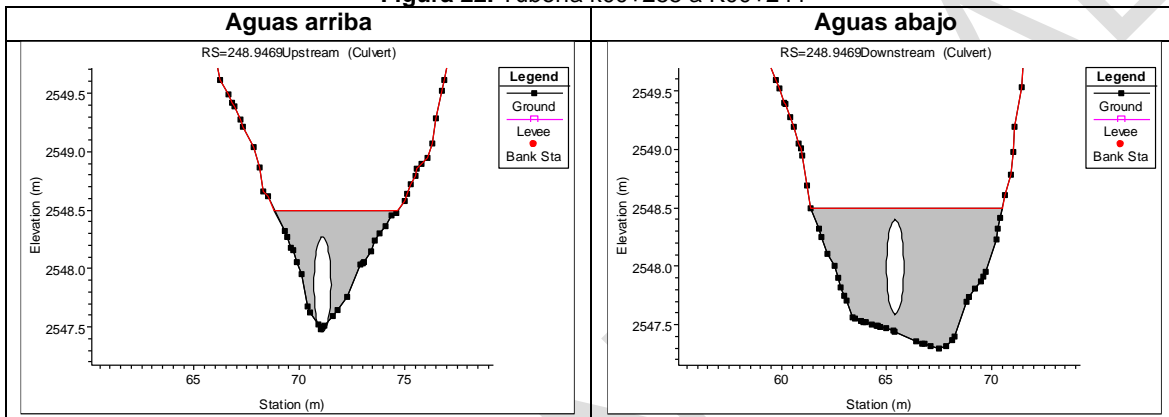
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

5.1.2.3 Estructuras

La Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén tienen tuberías enterradas de concreto reforzado tipo box-culvert que permiten su continuidad. En la **Figura 22** a **Figura 43** se muestran las modelaciones en HEC-RAS de los box-culvert reportados en los planos del informe topográfico con cotas batea y diámetros respectivos.

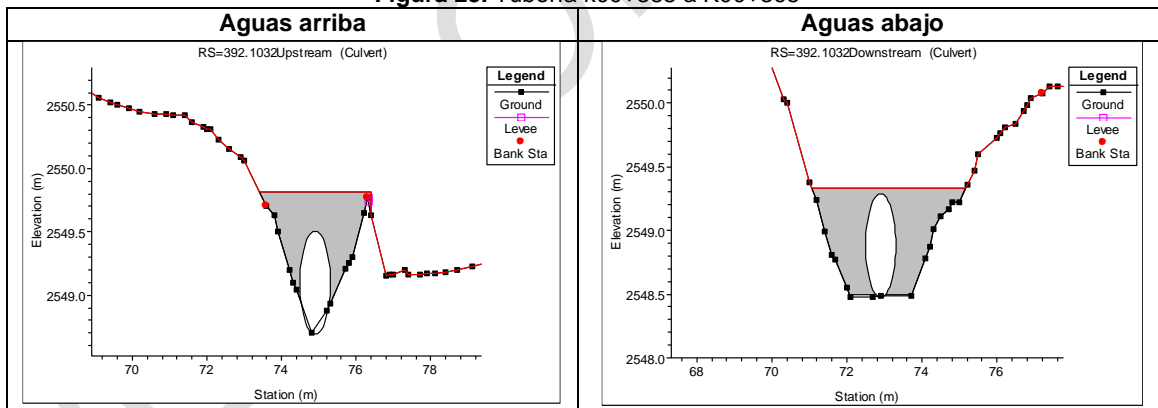
5.1.2.4 Quebrada Honda

Figura 22. Tubería k00+255 a K00+244



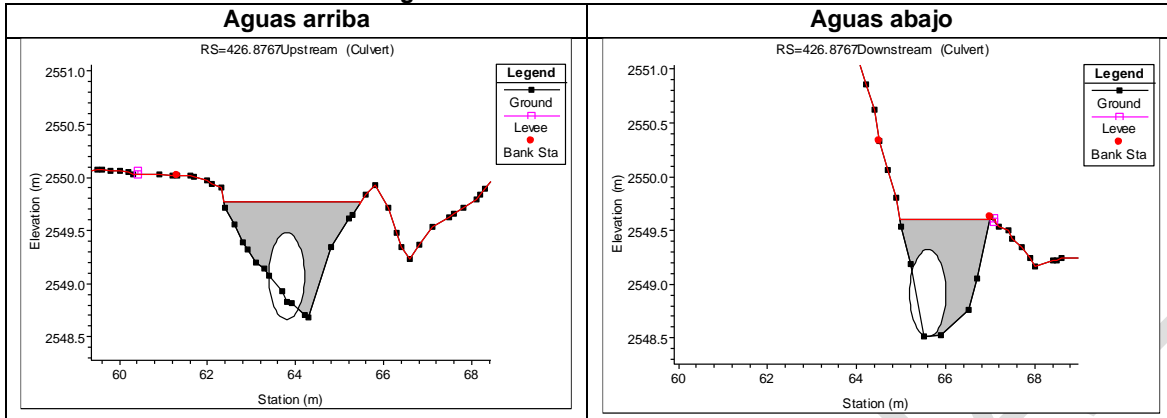
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 23. Tubería k00+388 a K00+395



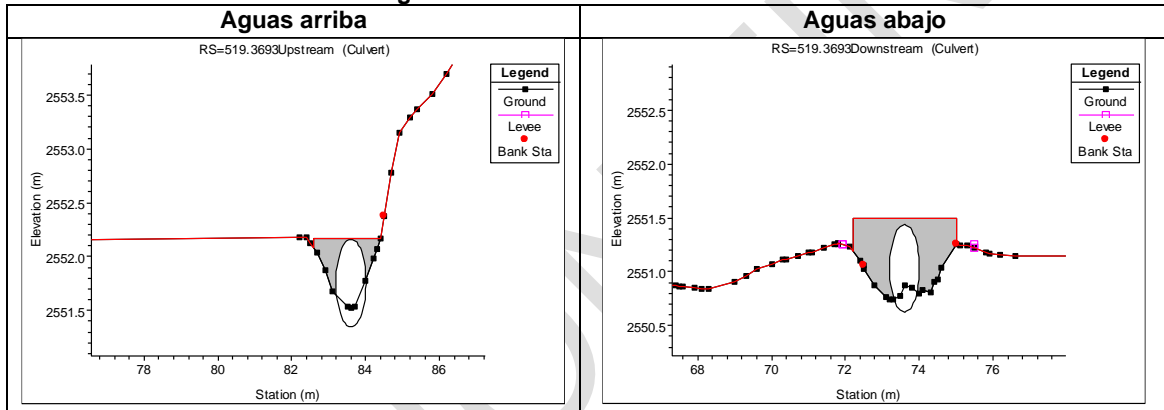
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 24. Tubería k00+424 a K00+230



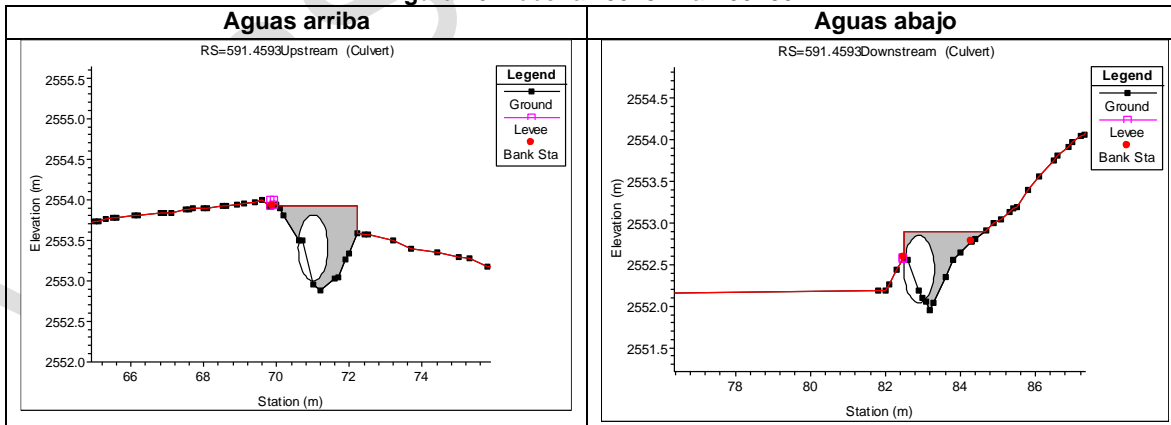
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 25. Tubería k00+464 a K00+575



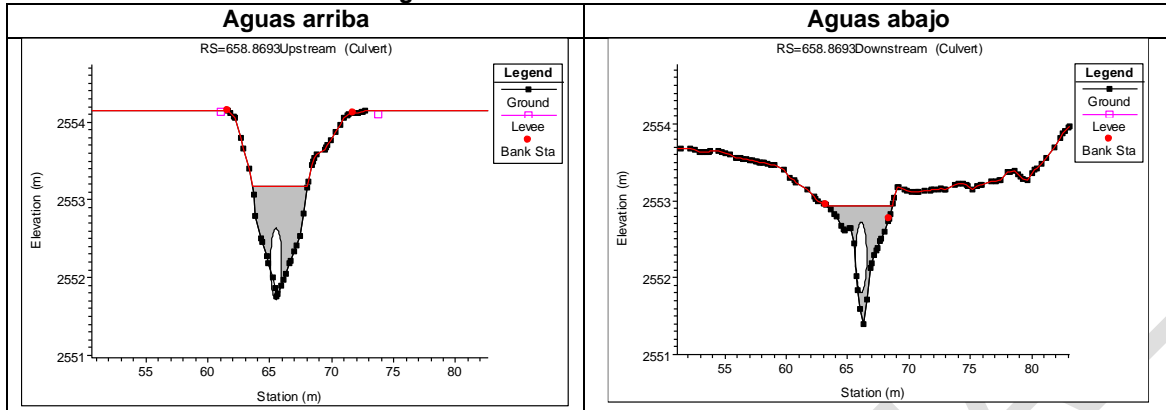
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 26. Tubería k00+577 a K00+607



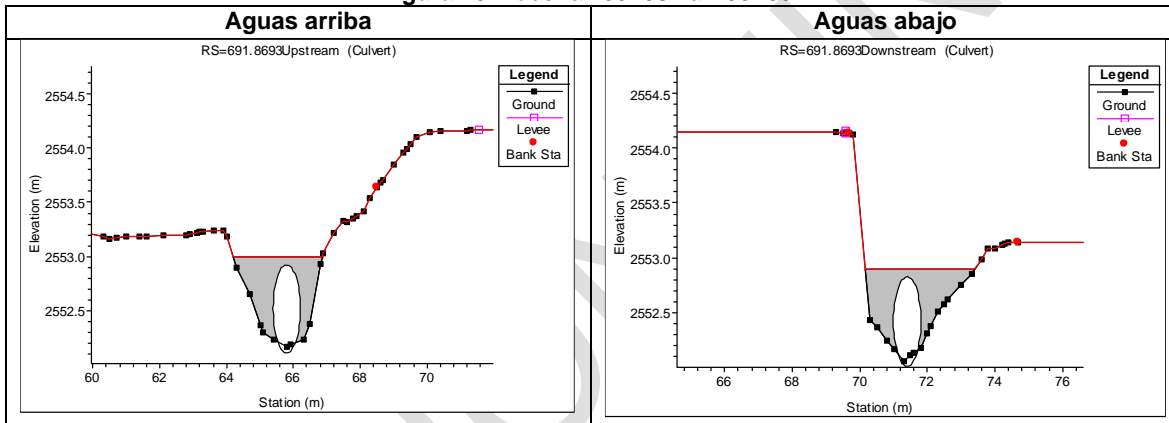
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 27. Tubería k00+577 a K00+607



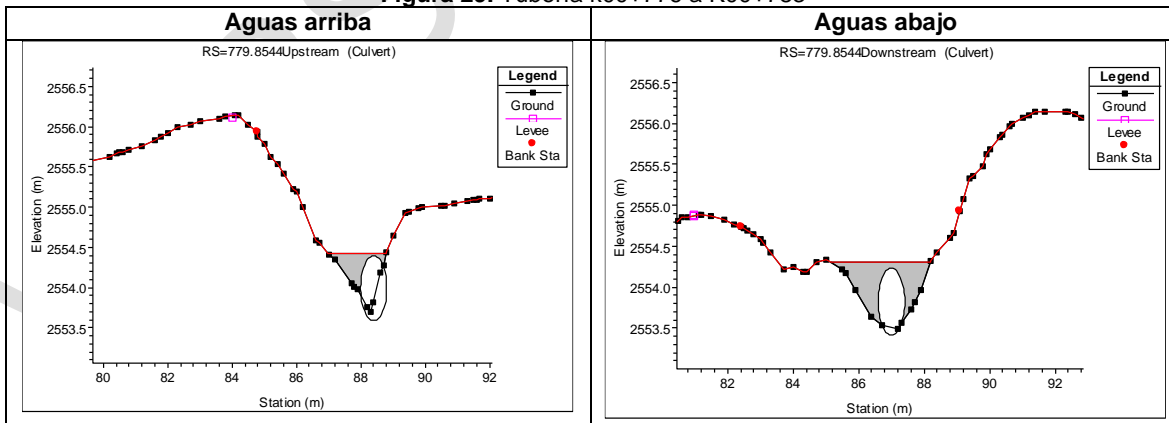
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 28. Tubería k00+687 a K00+697



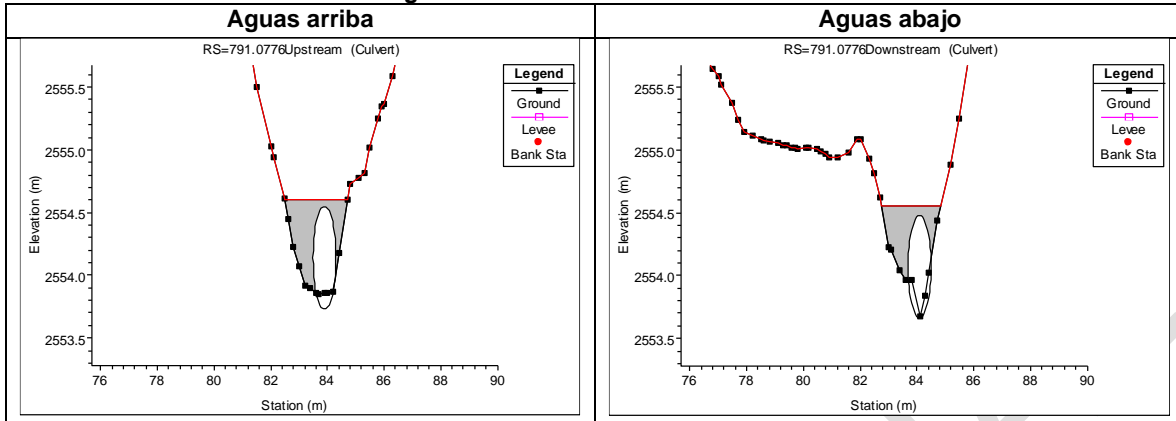
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 29. Tubería k00+776 a K00+783



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

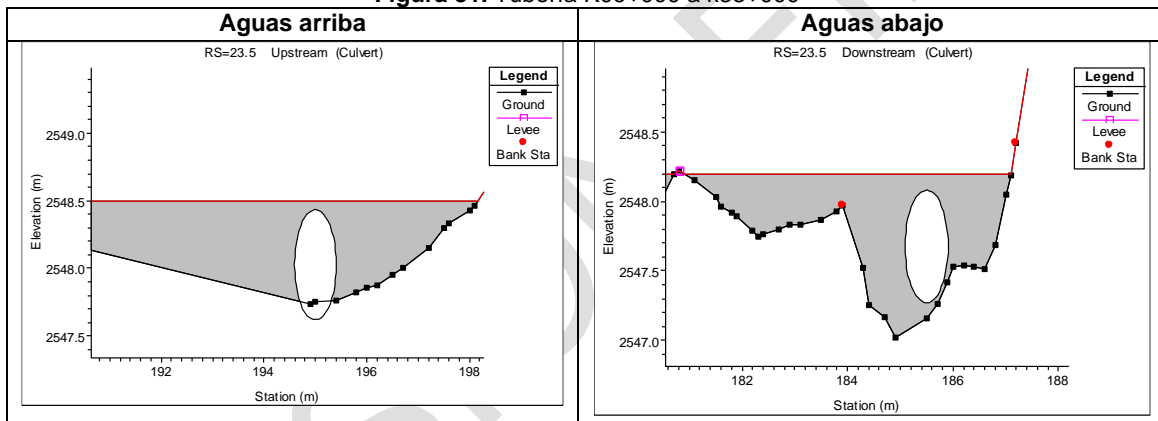
Figura 30. Tubería k00+776 a K00+783



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

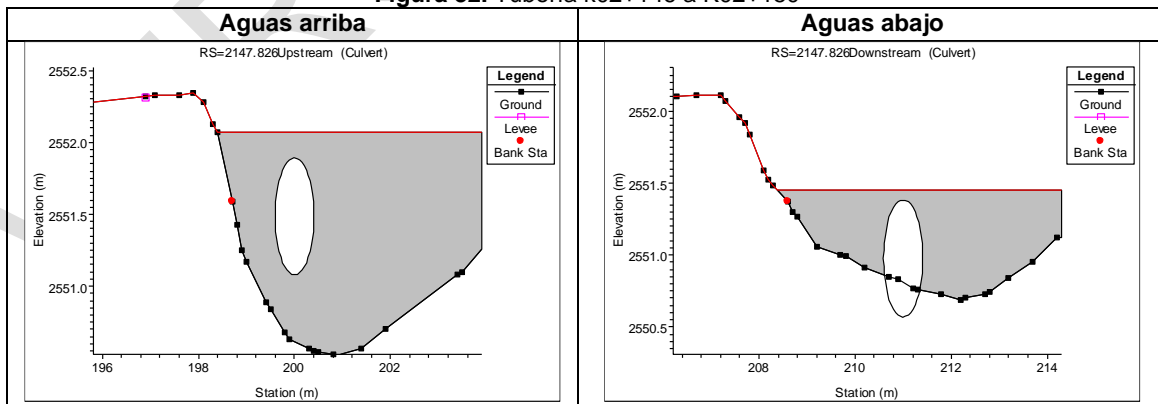
5.1.2.5 Chucua de Fagua

Figura 31. Tubería K09+000 a k38+000



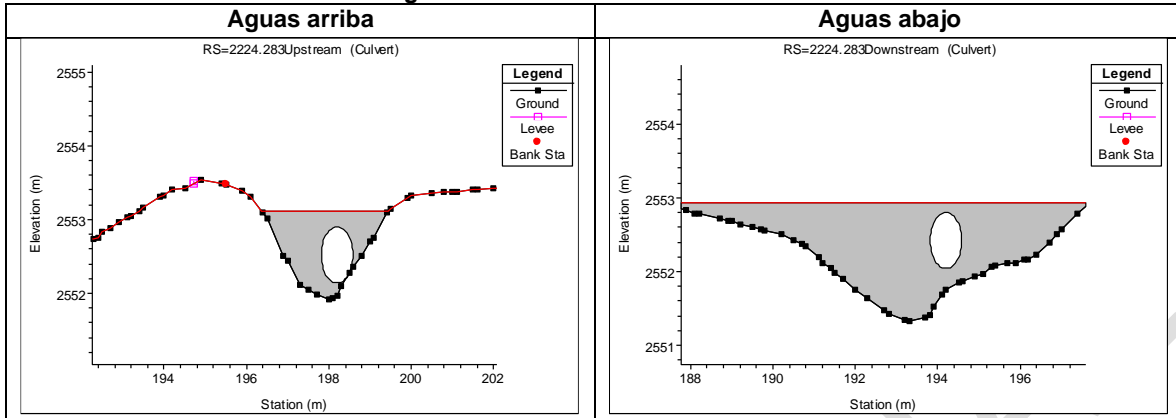
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 32. Tubería k02+146 a K02+150



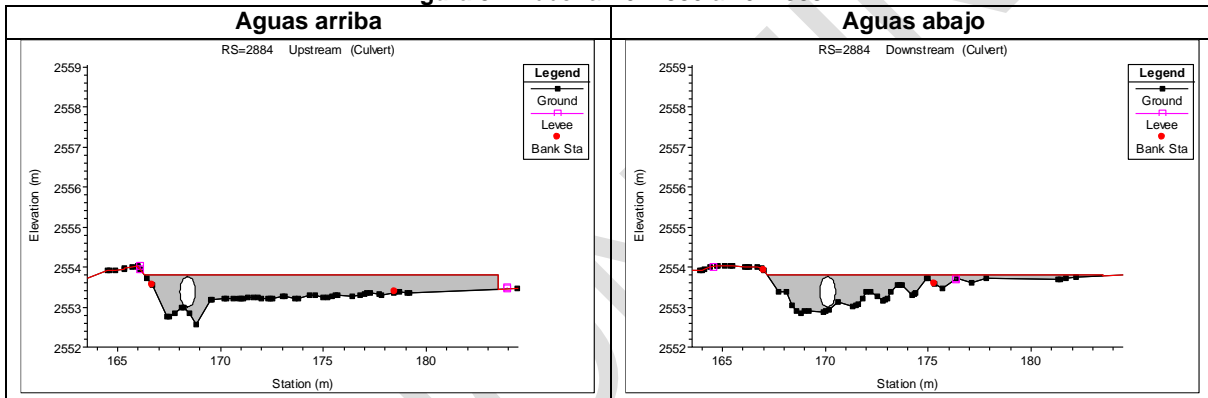
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 33. Tubería k02+222 a K02+227



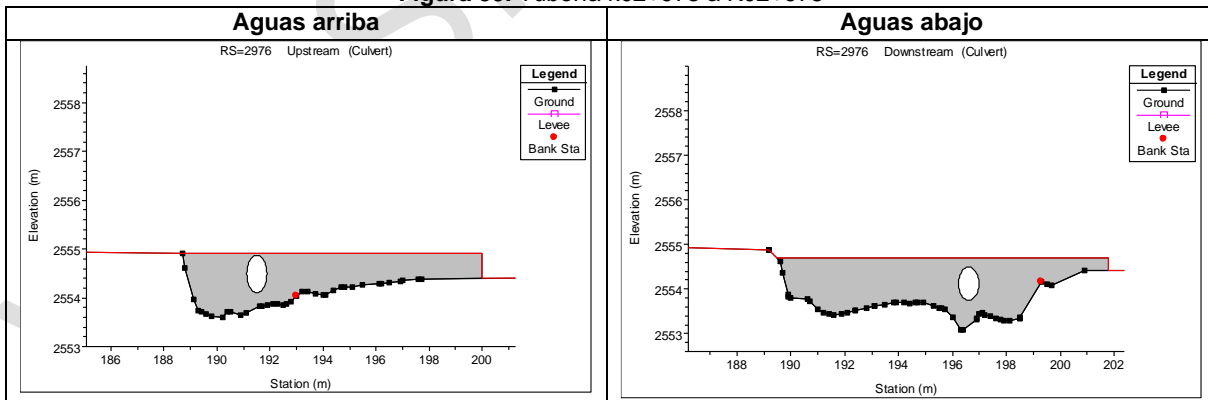
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 34. Tubería K02+880 a k02+888



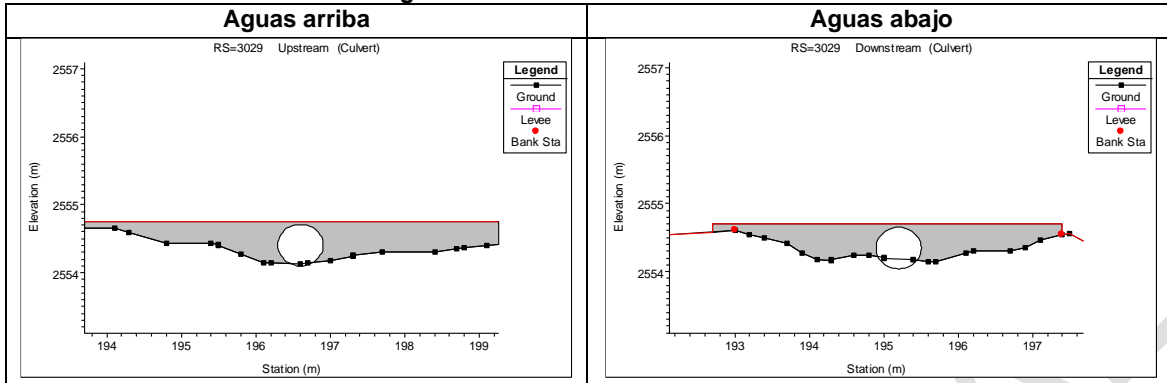
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 35. Tubería k02+973 a K02+978



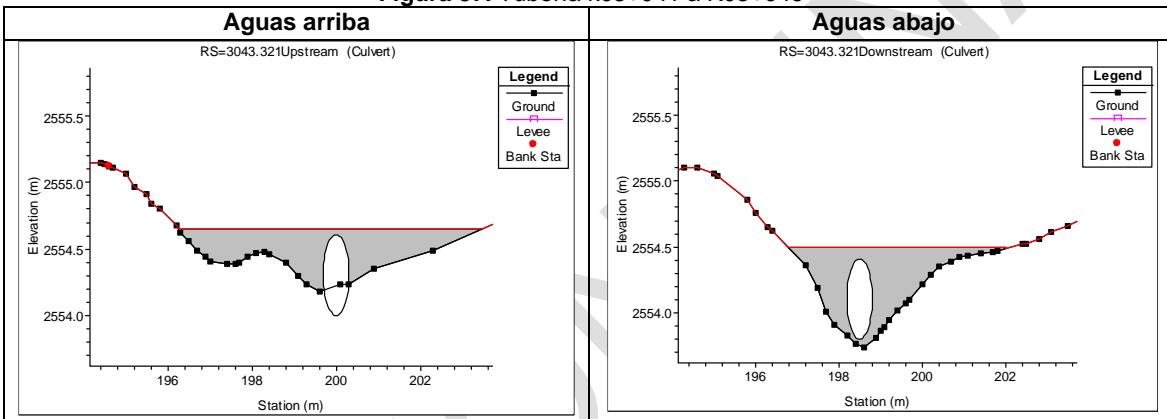
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 36. Tubería k03+026 a K03+031



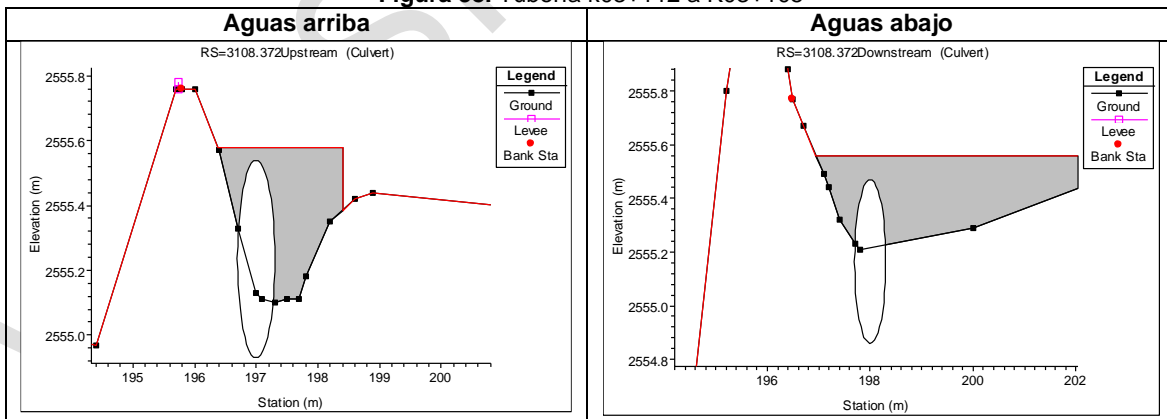
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 37. Tubería k03+041 a K03+046



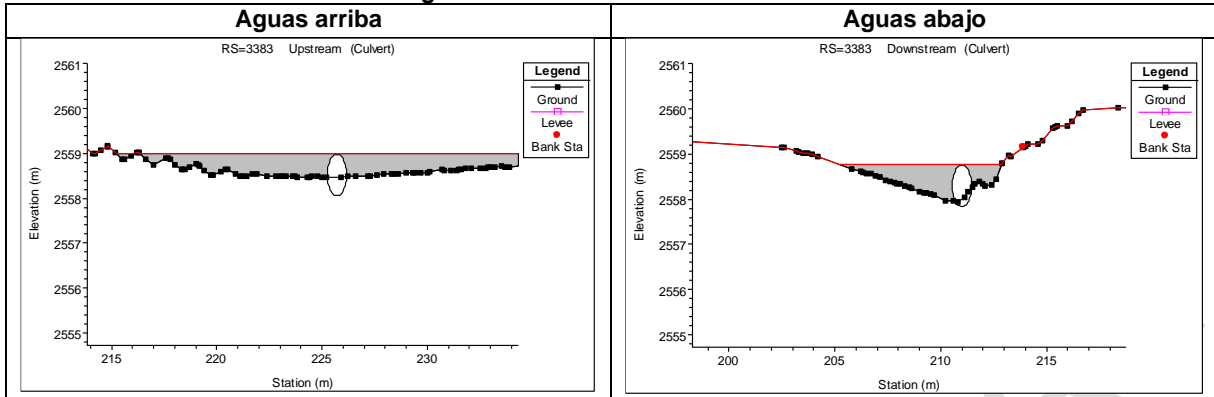
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 38. Tubería k03+112 a K03+105



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

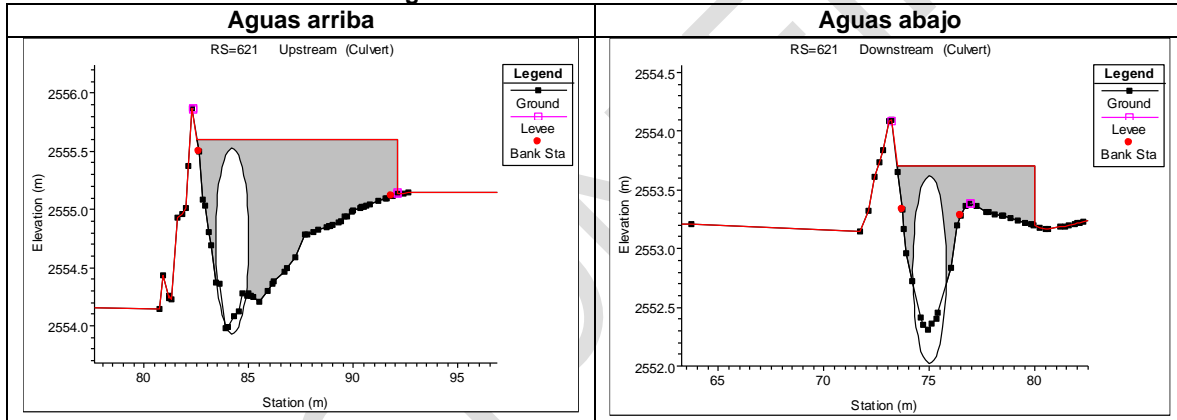
Figura 39. Tubería k03+379 a K03+388



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

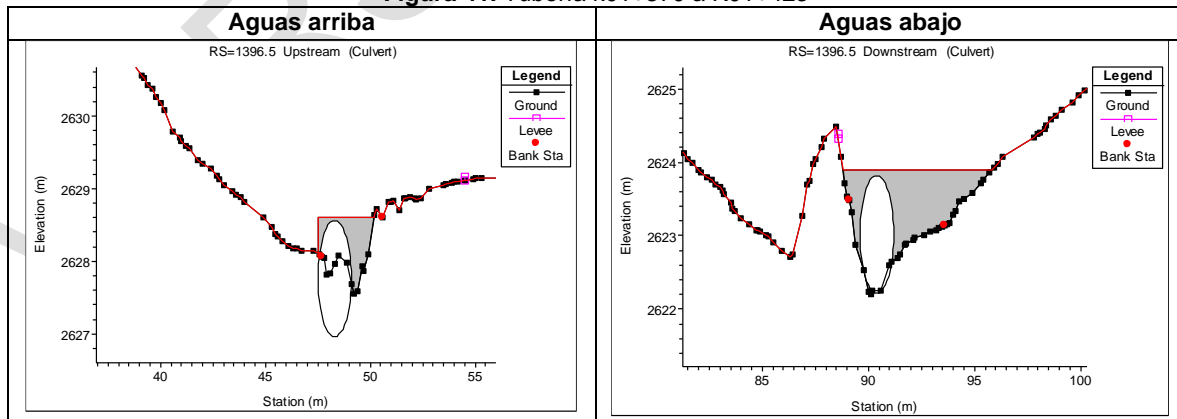
5.1.2.6 Quebrada Santiamén

Figura 40. Tubería k00+521 a K00+653



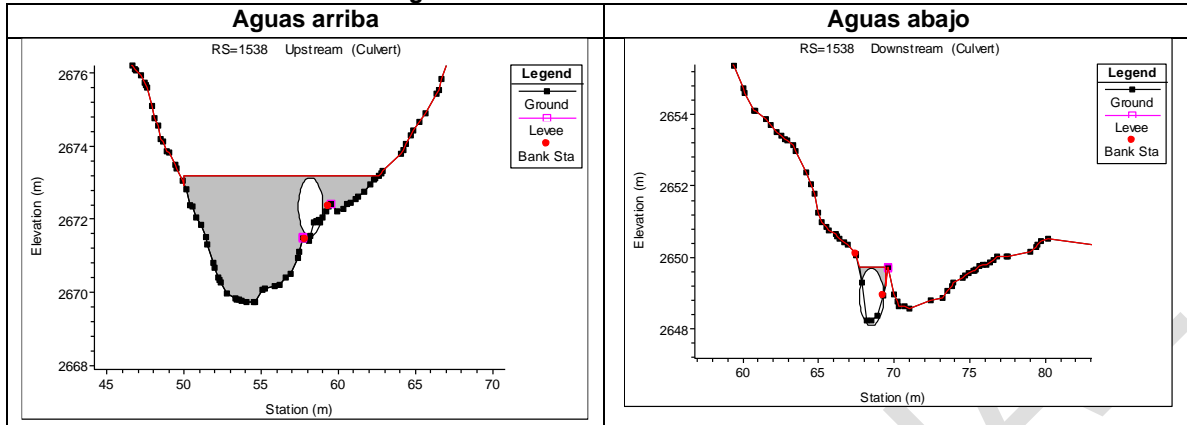
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 41. Tubería k01+370 a K01+423



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

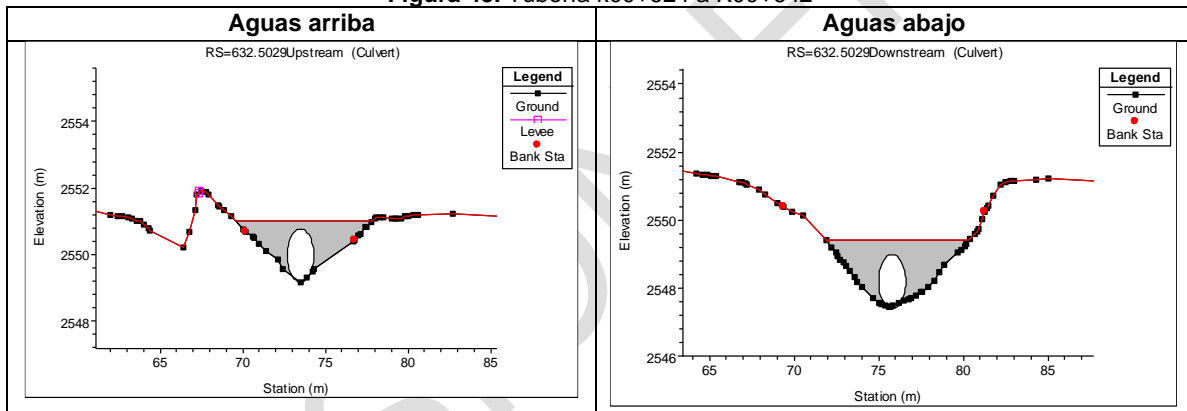
Figura 42. Tubería k01+494 a K01+584



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.2.7 Quebrada Rincón

Figura 43. Tubería k00+624 a K00+642



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.2.8 Caudales de diseño

- Río Frío

Los caudales de diseño del modelo hidráulico del río Frío se estimaron mediante el análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos de la estación puente Calamar localizada sobre el río Frío. En la **Tabla 32** se presentan los resultados de caudales máximos para diferentes periodos de retorno y las topobatimetrías a las que se asociaron los caudales en HEC-RAS. En la abscisa 7600 se adicionaron los caudales transitados en la cuenca alta de río Frío y los caudales de descarga de la Chucua de Fagua a río Frío.

Tabla 32. Caudales máximos instantáneos

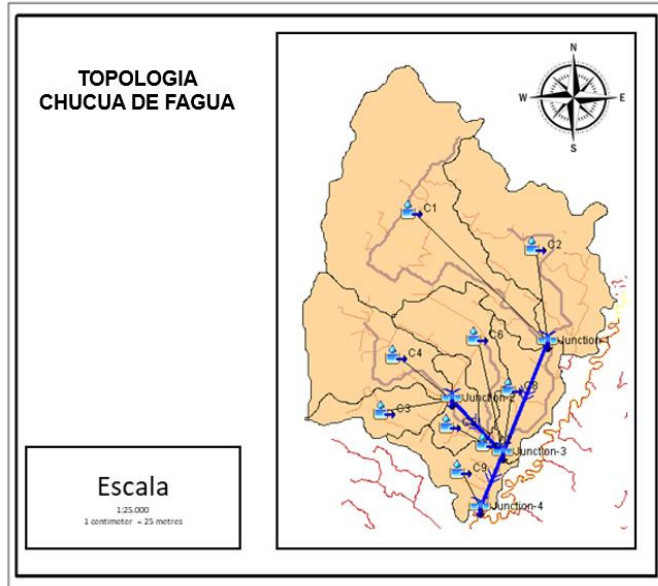
Punto	Abscisa (km)	Periodo de retorno				Distribución
		2	25	50	100	
PTE CALAMAR	14371	9.5	22.2	24.4	26.4	Normal

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

– Chucua de Fagua, quebradas Honda, Rincón y Santiamén

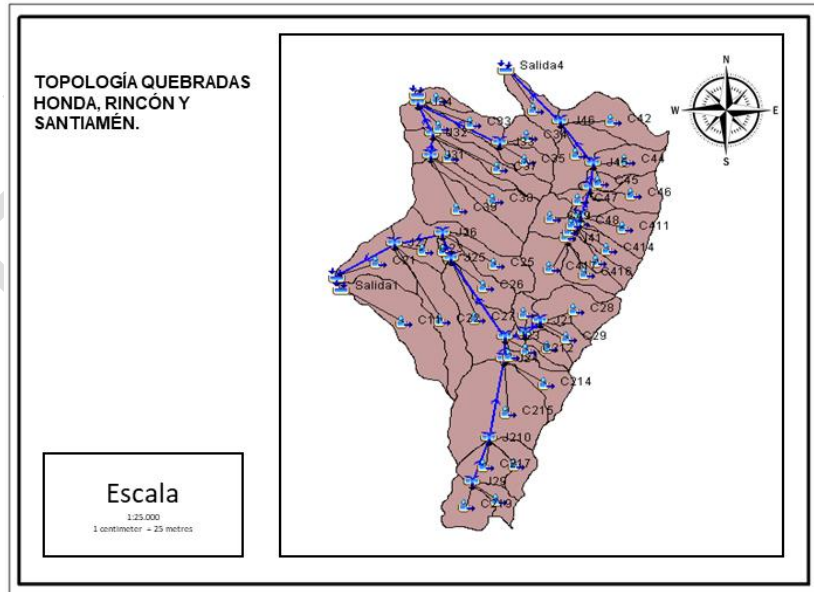
Los caudales de diseño de la Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén se calcularon con el software HEC-HMS mediante el análisis hidrológico de precipitaciones en conjunto con los parámetros morfométricos de microcuencas que drenan a las quebradas en mención. En la **Figura 44** y **Figura 45** se muestran las nueve microcuencas y la distribución de elementos y uniones del modelo en HEC-HMS.

Figura 44. Topología Chucua de Fagua



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 45. Topología quebradas Honda, Rincón y Santiamén



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Los modelos en HEC-HMS constan de elementos y uniones (*Junction*) que tienen un caudal asociado. Los caudales asociados a las uniones (*Junction*) son los caudales de diseño que se ingresaron al modelo hidráulico. En la **Tabla 33** se describen los caudales de diseño y las abscisas en kilómetros en donde se adicionaron los caudales en el modelo hidráulico HEC-RAS.

Tabla 33. Caudales Chucua la Fagua

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno en años			
		2.33	25	50	100
C1	5250	4.7	11.9	15	18.8
J1	3550	4.7	11.9	15	18.8
J3	850	5.3	13.1	16.5	20.6
J4	8	7.1	16.4	20.5	25.3

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 34. Caudales quebrada Honda

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno en años			
		2.33	25	50	100
C219	7011	0.78	1.61	1.94	2.34
J29	6611	1.07	2.23	2.7	3.26
J210	6011	2.13	4.47	5.43	6.56
J24	4711	3.95	8.34	10.16	12.28
J23	4361	5.83	12.34	15.03	18.17
J25	2911	7.12	14.94	18.17	21.93
J26	2511	7.84	16.38	19.91	24.02
J27	1711	9.06	18.87	22.93	27.65
SALIDA2	861	9.74	20.32	24.69	29.78

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 35. Caudales quebrada Rincón

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno años			
		2.33	25	50	100
C39	2854	1.22	2.41	2.9	3.46
J31	2105	1.97	3.92	4.71	5.63
J32	1705	2.96	5.91	7.12	8.51
J34	1155	4.51	9.16	11.06	13.26
SALIDA3	1005	4.51	9.16	11.06	13.26

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 36. Caudales quebrada Santiamén

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno años			
		2.33	25	50	100
C417	5071	0.62	1.3	1.59	1.92
J41	4671	0.95	2.02	2.46	2.97
J48	4471	1.26	2.67	3.26	3.94
J43	4271	2.72	5.74	6.99	8.45
J44	3771	3.37	7.23	8.84	10.72
J45	3321	3.72	8.16	10.04	12.24
J46	2521	4.83	10.74	13.25	16.2
SALIDA4	1071	5.28	11.69	14.4	17.59

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.2.9 Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera aguas arriba del río Frío, Chucua de Fagua y las quebradas Honda, Rincón y Santiamén se simularon con profundidades de flujo normal y pendientes estimadas con el software complemento de Autocad civil 3d Hydraulic Calculator. El software *Hydraulic Calculator* usa batimetrías y caudales de diseño modelados en HEC-RAS para determinar las condiciones de frontera del modelo hidráulico. Las condiciones de frontera de los ríos y quebradas en mención se describen en la **Tabla 37**

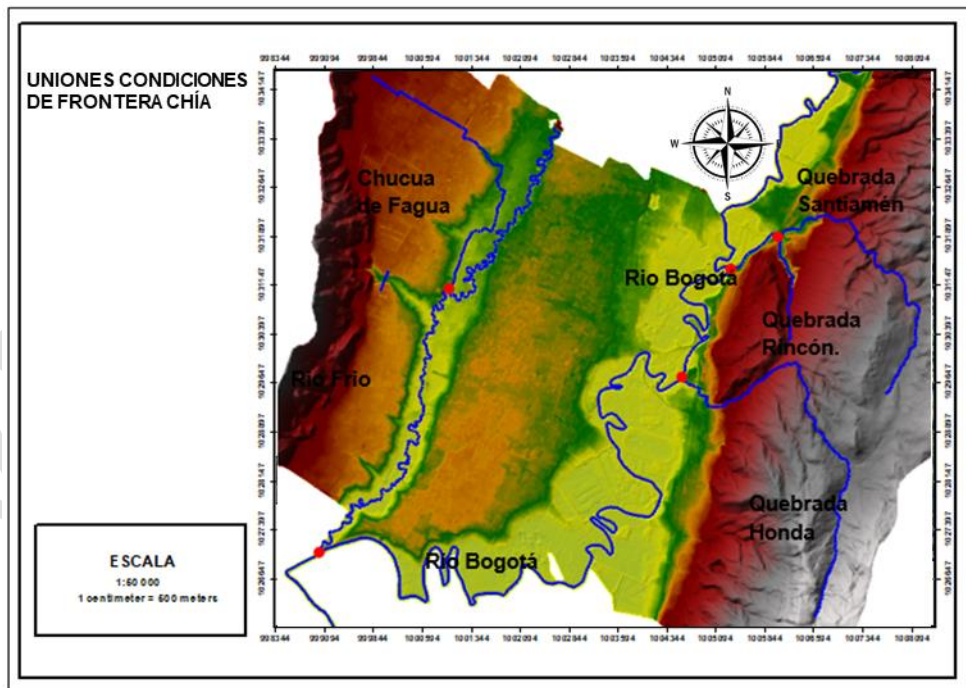
Tabla 37. Pendientes de entrada

Afluente	Pendiente (mm/mm)
Chucua de Fagua	0.104
Quebrada Honda	0.160
Quebrada Rincón	0.130
Quebrada Santiamén	0.036
Río Frío	0.007
Río Bogotá	0.012

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Las condiciones de frontera de descarga de los ríos y quebradas antes mencionados se simularon por medio de uniones a excepción del río Bogotá que se simuló con una condición de descarga de flujo crítico. En la **Figura 46** se muestran los ríos y quebradas analizados y las uniones entre cada río o quebrada (puntos rojos).

Figura 46. Uniones condiciones de frontera Chía



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.3 Modelo Hidráulico quebradas 1:25.000

5.1.3.1 Rugosidades (n de Manning)

Los n de Manning asociados al cauce de las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy y el río Bogotá se estimaron en tramos con dimensiones y coberturas del cauce similares. En la **Tabla 38** se describen los coeficientes de Cowan el n de Manning asociados al cauce de las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy.

Tabla 38. n de Manning Quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy

Afluente	Tramo	Abscisa Inicial (km)	Abscisa Final (km)	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n resultante
Tíquiza	1	k00+000	k01+850	0.02	0	0	0	0.011	1.1	0.032
El Chircal	1	k00+000	K03+450	0.02	0	0	0	0.011	1.1	0.032
Sindamanoy	1	k00+000	K04+080	0.02	0	0	0	0.012	1	0.030

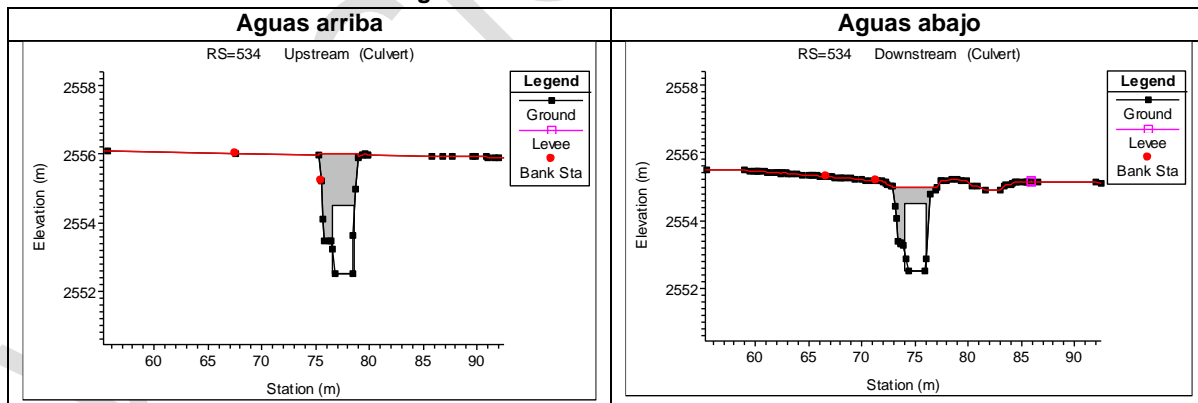
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.3.2 Estructuras

El Chircal y Sindamanoy cruzan la autopista norte por medio de box culvert de concreto reforzado que permiten su continuidad. En la **Figura 47** a **Figura 50** se muestran las modelaciones en HEC-RAS de los box-culvert reportados en los planos del informe topográfico con cotas batea y diámetros respectivos.

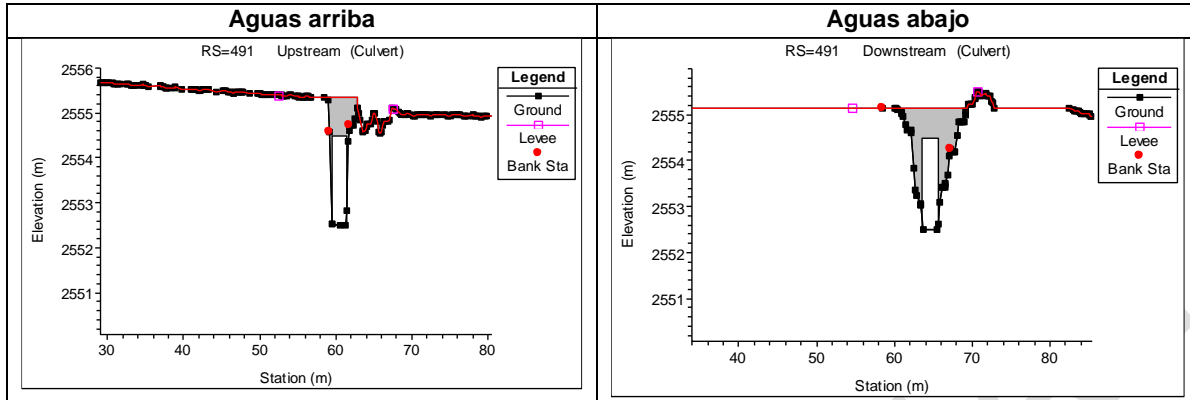
- Quebrada El Chircal

Figura 47. Tubería k00+523 a K00+545



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

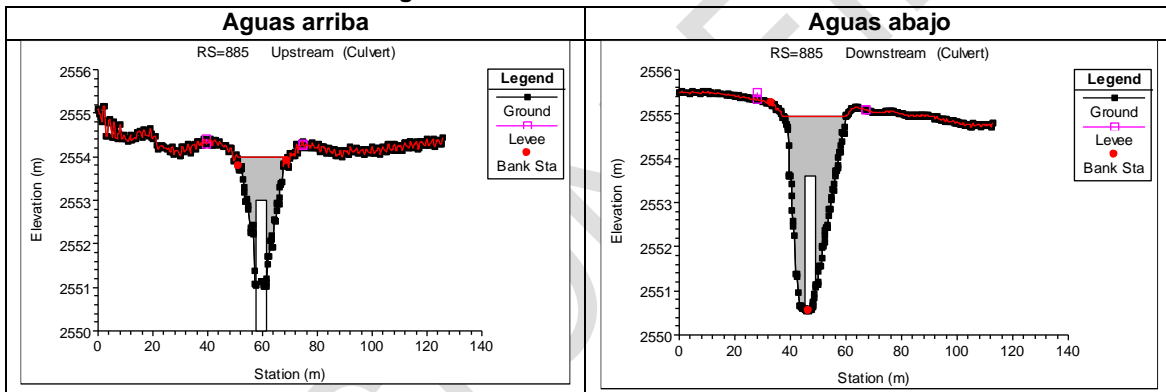
Figura 48. Tubería k00+480 a K00+502



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

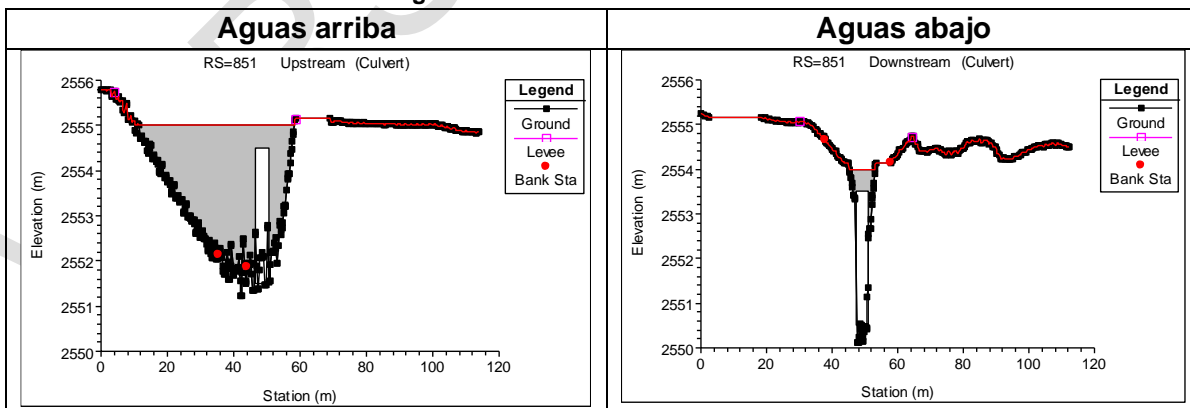
– Quebrada Sindamanoy

Figura 49. Tubería K00+896 a k00+874



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 50. Tubería k02+146 a K02+150



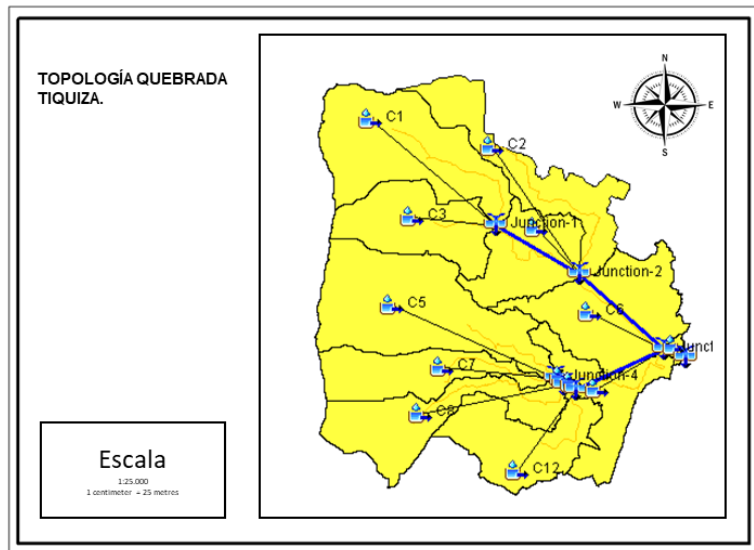
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.3.3 Caudales de diseño

- Quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy

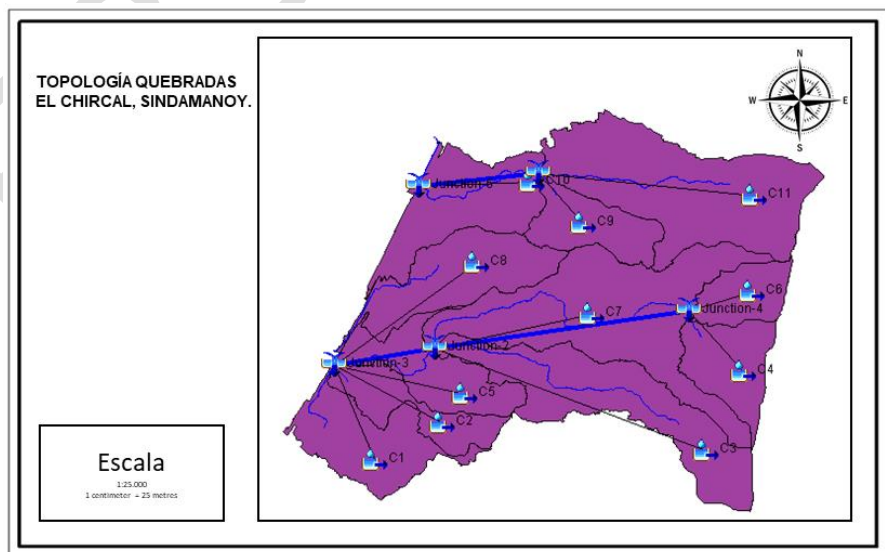
Los caudales de diseño de las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy se calcularon con el software HEC-HMS mediante el análisis hidrológico de precipitaciones en conjunto con los parámetros morfométricos de microcuencas que drenan a las quebradas en mención. En la **Figura 51** y **Figura 52** se muestran las microcuencas y la distribución de elementos y uniones del modelo en HEC-HMS.

Figura 51. Topología quebrada Tíquiza



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 52. Topología quebradas El Chircal Sindamanoy



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Los modelos en HEC-HMS constan de elementos y uniones (*Junction*) que tienen un caudal asociado. Los caudales asociados a las uniones (*Junction*) son los caudales de diseño que se ingresaron al modelo hidráulico. En **Tabla 39** a **Tabla 41** se describen los caudales de diseño y las abscisas en kilómetros en donde se adicionaron los caudales en el modelo hidráulico HEC-RAS.

Tabla 39. Caudales Quebrada El Chircal

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno años			
		2	25	50	100
C11	k03+450	0.4	1.3	1.7	2.3
J1	k01+550	1	2.2	2.7	3.3
J5	k00+600	1.5	3.4	4.2	5.1

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 40. Caudales Quebrada Tíquiza

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno años			
		2	25	50	100
C3	k01+850	0.6	1.3	1.6	1.9
J1	k01+400	1.6	3.5	4.3	5.2
J2	k00+700	1.7	3.8	4.6	5.6
J3	k00+100	1.9	4.2	5.1	6.3

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 41. Caudales Quebrada Sindamanoy

Cuenca	Abscisa (km)	Periodo de retorno años			
		2	25	50	100
C7	k04+080	0.1	0.8	1.2	1.8
J2	k01+750	0.1	0.8	1.3	1.9
J3	k00+900	2.5	5.7	7.2	8.8

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.3.4 Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera aguas arriba de las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy se simularon de la misma forma que para las fuentes estudiadas a escala 1:2000. Las condiciones de frontera de las quebradas en mención se describen en la **Tabla 42**.

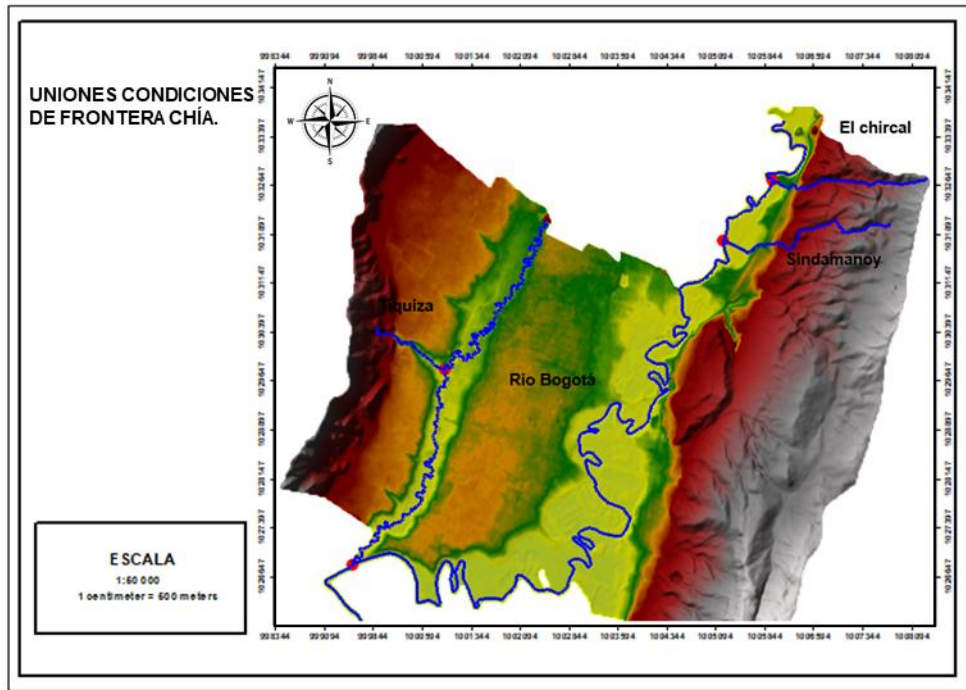
Tabla 42. Pendientes de entrada

Afluente	Pendiente (mm/mm)
El Chircal	0.10
Tíquiza	0.12
Sindamanoy	0.12

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Las condiciones de frontera de descarga de las quebradas antes mencionadas se simularon por medio de uniones. En la **Figura 53** se muestran las quebradas analizadas y las uniones entre cada quebrada (puntos rojos).

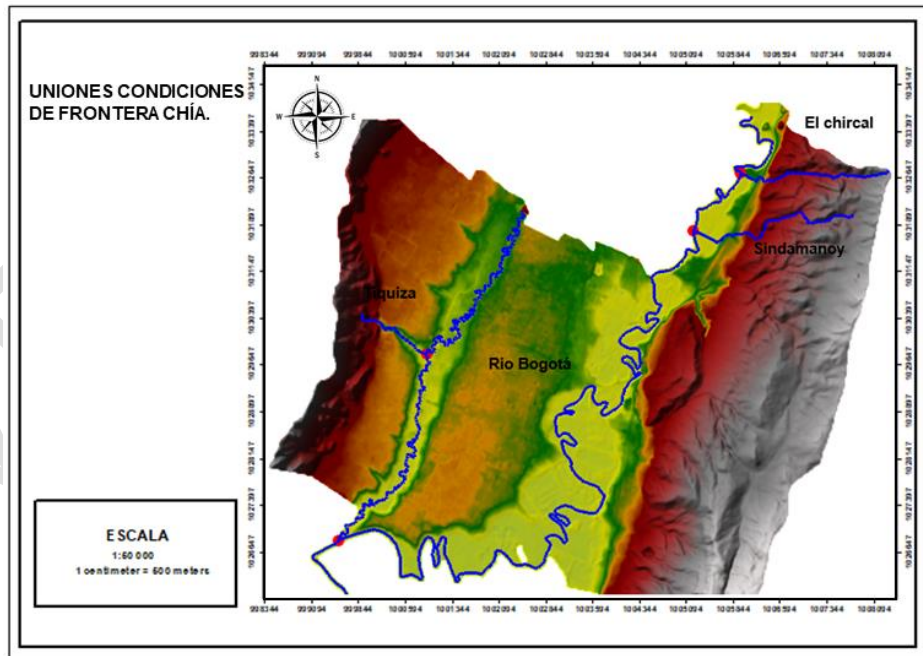
Figura 53. Uniones⁴ condiciones de frontera Chía



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.1.4 Modelo hidráulico Río Bogotá

Figura 54. Uniones y condiciones de frontera Chía



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

⁴ Las condiciones de frontera corresponden a los puntos de interconexión de las corrientes (punto rojo)

La geometría (Modelo digital de elevación) y caudales para periodos de retorno 2.33, 25, 50 y 100 años del río Bogotá adecuado en el municipio de Chía se tomó de los productos entregados como resultado del contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, en cuyo objeto se incluye la elaboración de los estudios técnicos necesarios para adelantar las obras de adecuación hidráulica de la cuenca alta del río Bogotá en el cauce principal. El modelo digital de elevación del río Bogotá adecuado se muestra en la **Figura 54**.

5.1.4.1 Caudales de diseño

Los caudales de diseño del modelo hidráulico se asignaron en función de los caudales reportados en los productos entregados como resultado del contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR para periodos de retorno de 2.33 y 100 años. En este estudio se asumieron caudales para periodos de retorno tales como 25 y 50 años a través de una interpolación lineal entre los caudales de periodos de retorno de 2.33 y 100 años ya que para los periodos de retorno 25 y 50 años no se estimaron caudales en el modelo hidráulico del contrato 930-2012. Los caudales de diseño se asignaron a las abscisas reportadas en los productos entregados como resultado del contrato 930-2012. En la **Tabla 43** se muestran los caudales de diseño usados en este estudio.

Tabla 43. Caudales de modelación Río Bogotá

Río Bogotá - Caudales (m ³ /s)				
Abscisas	TR (años)			
	2.33	25	50	100
40083	31.8	21.39	42.78	85.56
28482	33.5	22.4125	44.825	89.65

Fuente: Estudio contrato 930-2012 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

5.1.4.2 Condiciones de frontera

Para las condiciones de frontera se tomó como condición aguas arriba una pendiente de 0.02, y para la descarga como una pendiente de régimen crítico.

5.1.4.3 Rugosidades

En este estudio se asumió un n de Manning de 0.022 (asociado a canales en tierra con poca vegetación) para estimar la rugosidad del cauce del río Bogotá adecuado.

Tabla 44. Rugosidades n de manning Río Bogotá

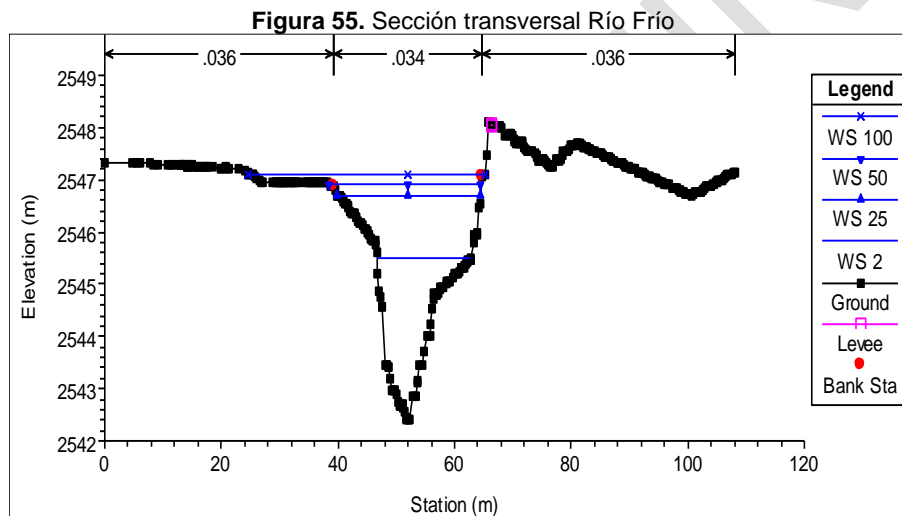
Afluente	Tramo	Abscisa Inicial (km)	Abscisa Final (km)	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n resultante
Río Bogotá	1	k00+000	k40+000	0.02	0	0	0	0.002	1	0.022

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

5.2 Resultados inundación por desbordamiento

5.2.1 Resultados inundación cauces 1:2.000

Los resultados obtenidos de la simulación hidráulica en el software HEC-RAS son las manchas de inundación por desbordamiento del río Frío, Chucua de Fagua y quebradas Honda, Rincón y Santiamén para los caudales con periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años. Las manchas de inundación se estimaron mediante el cálculo de alturas de lámina de agua en secciones asignadas cada 50 m en la dirección del cauce de los ríos y quebradas antes mencionadas. En la **Figura 55** se muestra como ejemplo una sección transversal del río Frío y las alturas de lámina de agua para periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años estimadas en HEC-RAS. En la **Figura 62** a **Figura 50** se muestran las manchas de inundación de los ríos y quebradas en mención para periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años.



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Las manchas de inundación derivadas de la modelación hidráulica en HEC-RAS se usaron para estimar áreas de afectación por desbordamiento. Las zonas de afectación por desbordamiento de cada uno de los afluentes en estudio se delimitaron por medio de abscisas donde; la abscisa k00+000 corresponde a la desembocadura del río o quebrada. En la **Tabla 45** se describen las abscisas que delimitan las áreas de inundación por desbordamiento de los ríos y quebradas en mención. En la **Figura 60** a **Figura 74** se muestran las zonas de inundación por desbordamiento de los ríos y quebradas en estudio delimitadas por abscisas, Las áreas de afectación de inundación por desbordamiento se describen en la **Tabla 46**.

Tabla 45. Abscisas que delimitan las zonas de inundación por desbordamiento

Ríos y/o quebradas	Abscisas
Chucua de Fagua	K05+145 – k03+650.
	K03+359 – k1+314.
	K01+314 – k00+252.
	K00+204 – k00+038.
Río Frío	k08+404 a k07+704.
	k13+454 a k13+104.
	k05+983 a k05+833.
	k05+383 a k05+233.
	k04+683 a k04+183.
	k03+283 a k02+633.
Q. Honda	k01+611 a k00+335.
Q. Rincón	k00+964 a k00+205.
	k01+555 a k01+005.
Q. Santiamén	k01+121 a k00+125.

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

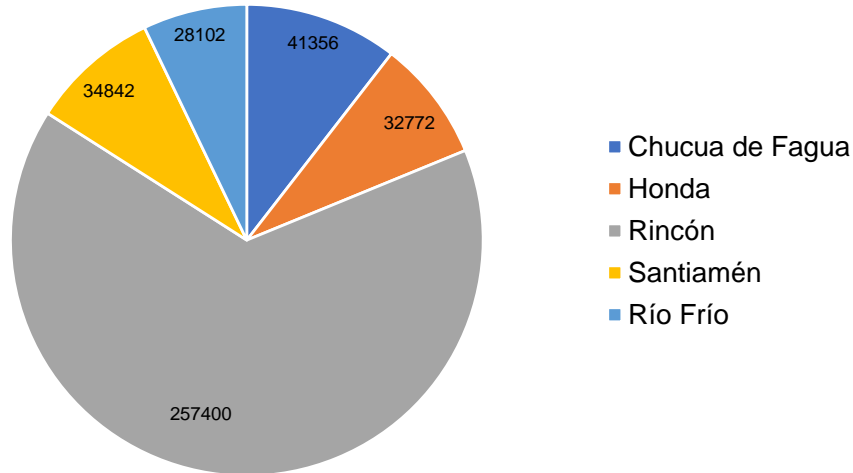
Tabla 46. Áreas de afectación

Ríos y/o quebradas	Periodo de retorno	Área (m ²)
Río Frío	100	78745
	50	67303
	25	54241
	2.33	28102
Q. Honda	100	59827
	50	54630
	25	47756
	2.33	32772
Q. Rincón	100	280915
	50	268675
	25	260813
	2.33	257400
Q. Santiamén	100	49223
	50	46389
	25	44555
	2.33	34842
Chucua de Fagua	100	283207
	50	247930
	25	174421
	2.33	41356

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 56. Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 2.33 años

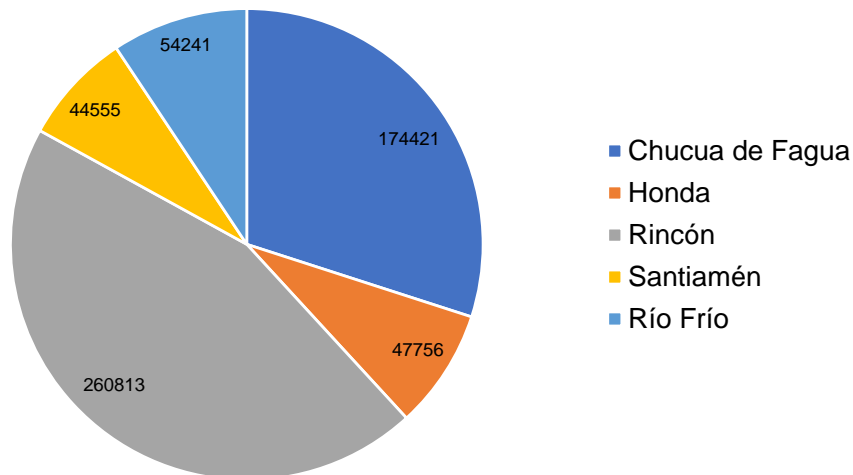
Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 2.33 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 57. Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 25 años

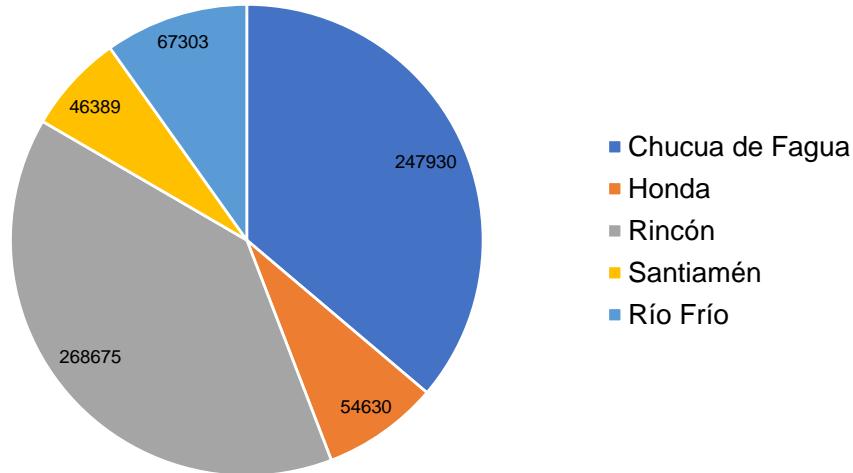
Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 25 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 58. Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 50 años

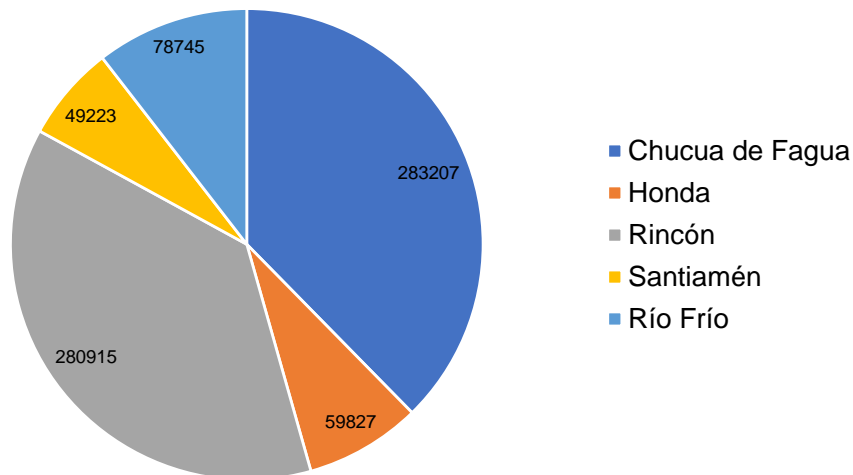
Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 50 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 59. Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 100 años

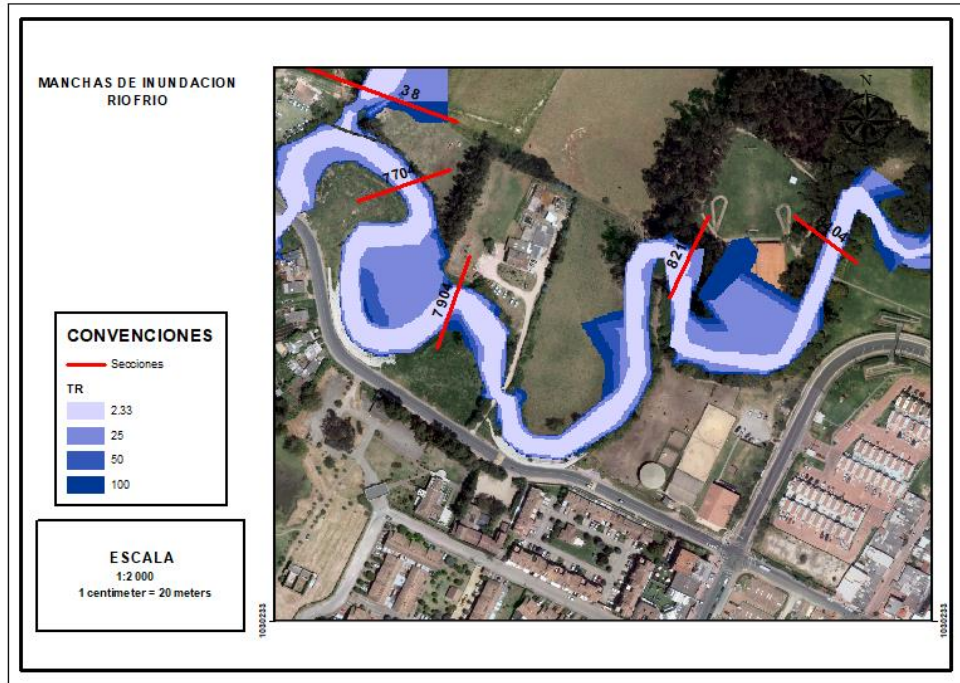
Área (m²) de afectación por desbordamiento periodo de retorno 100 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

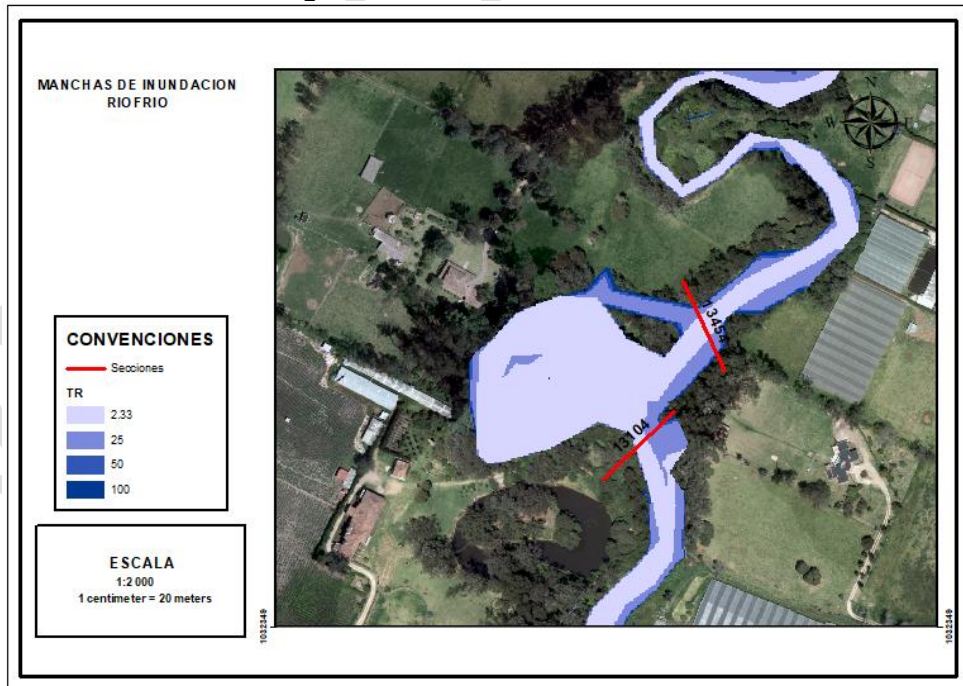
5.2.1.1 Manchas de inundación río Frío

Figura 60. Río Frío k08+404 a k07+704



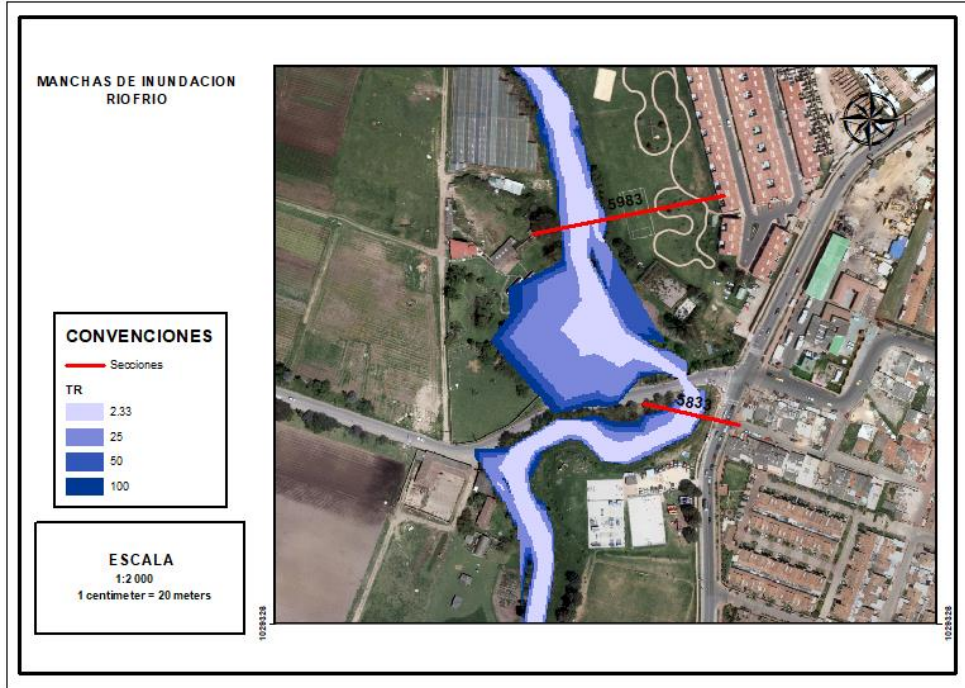
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 61. Río Frío k13+454 a k13+104



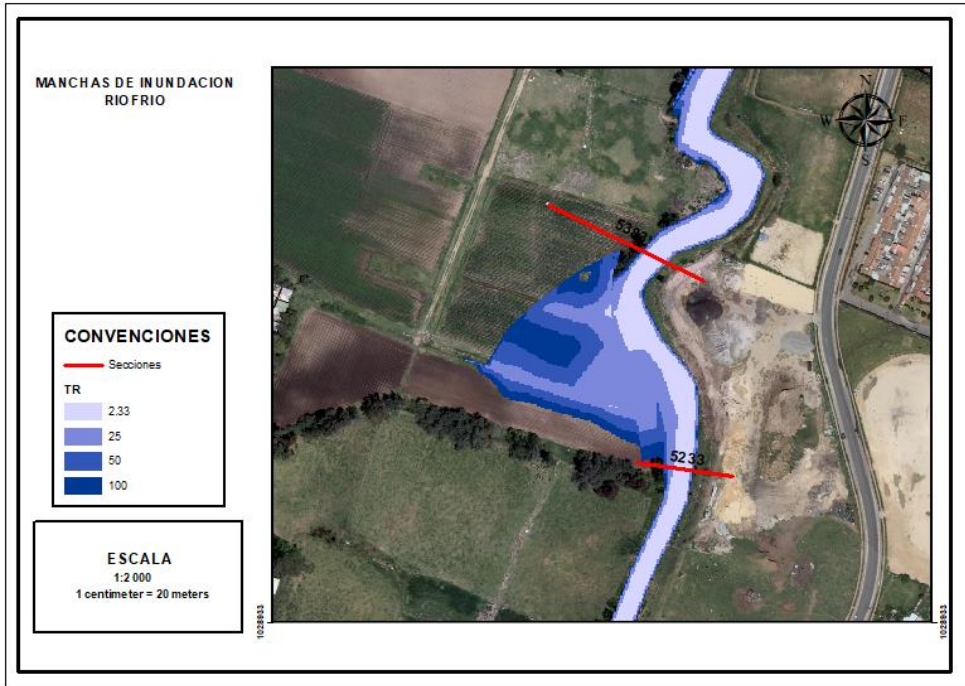
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 62. Río Frío k05+983 a k05+833



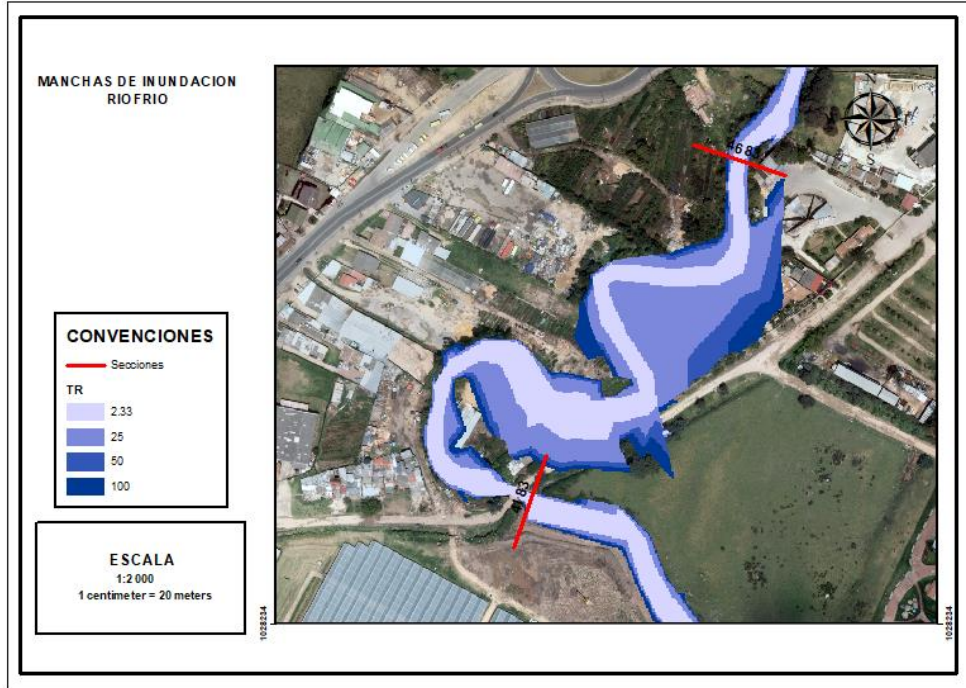
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 63. Río Frío k05+383 a k05+233



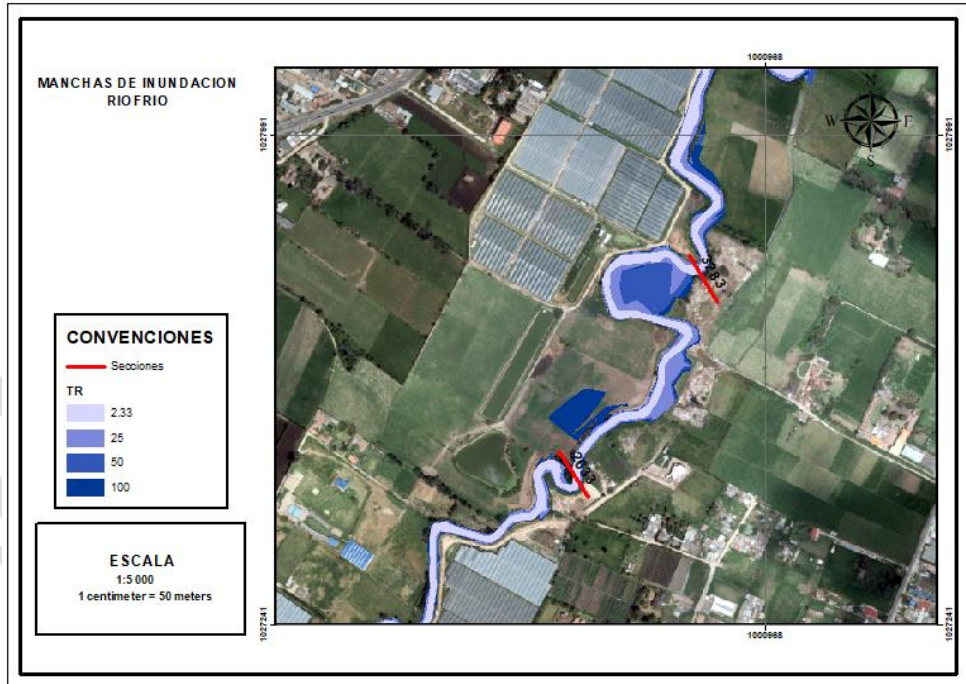
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 64. Río Frío k04+683 a k04+183



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

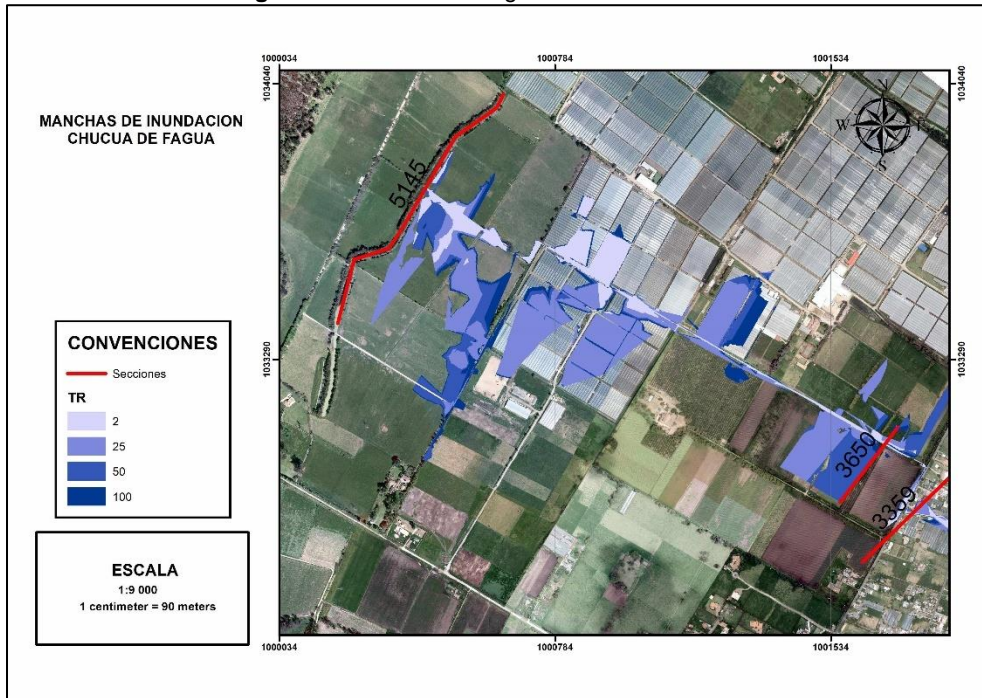
Figura 65. Río Frío k03+283 a k02+633



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

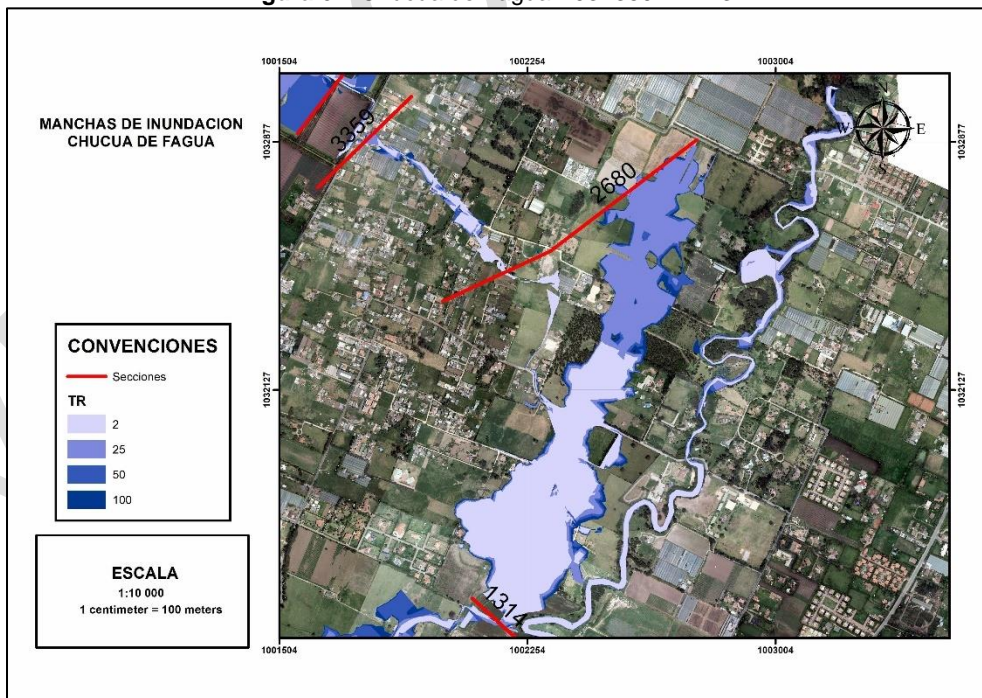
5.2.1.2 Manchas de inundación Chucua de Fagua

Figura 66. Chucua de Fagua K05+145 – k03+650



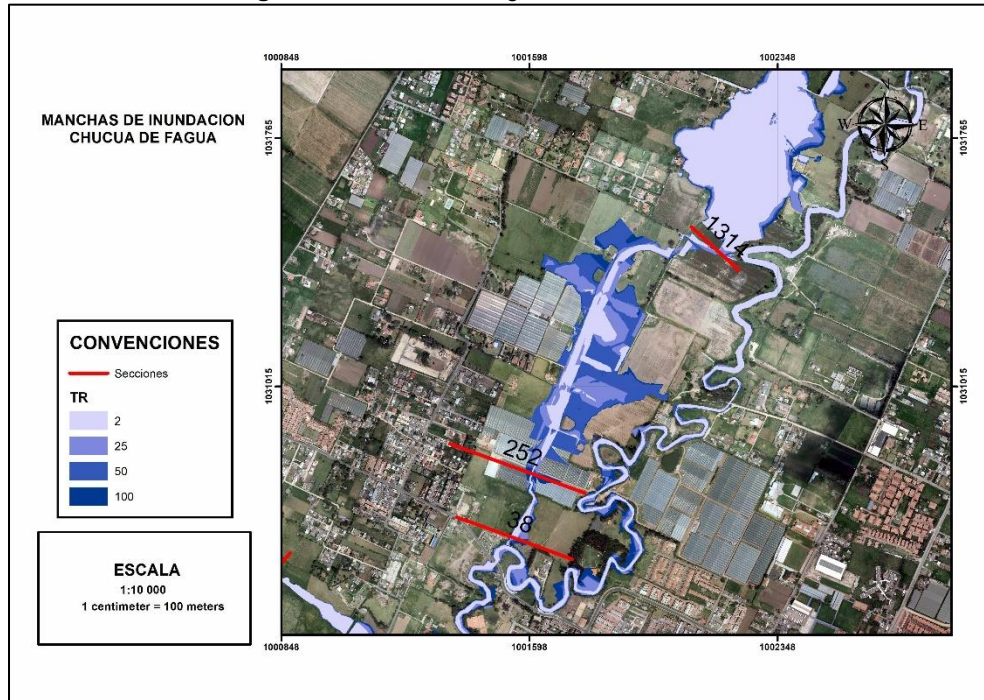
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 67. Chucua de Fagua K03+359 – k1+314



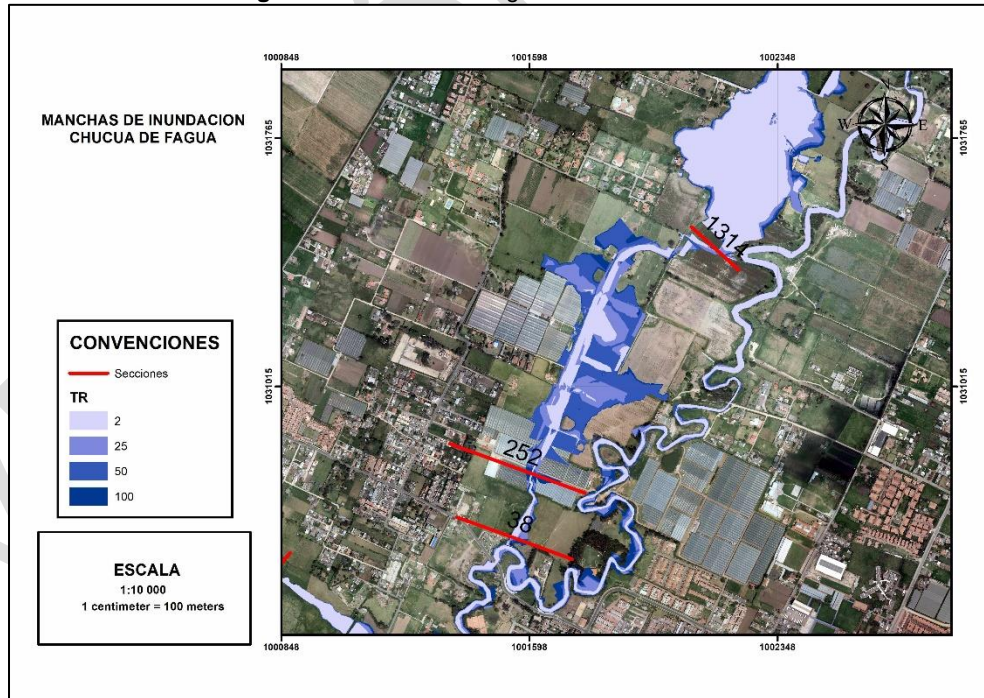
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 68. Chucua de Fagua K01+314 – k00+252



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

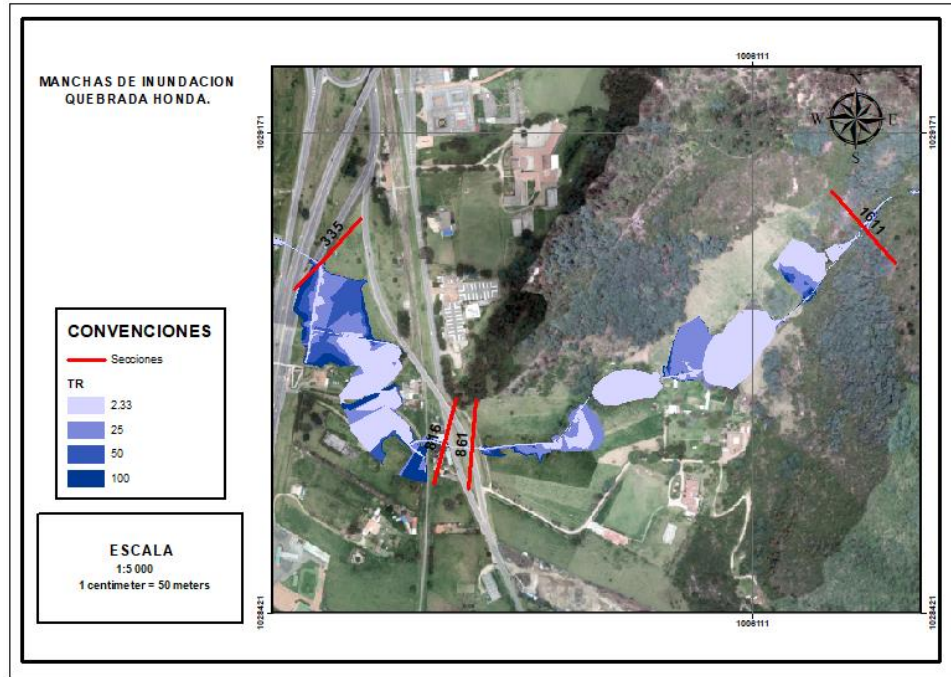
Figura 69. Chucua de Fagua K00+252 – k00+038



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.1.3 Manchas de inundación quebrada Honda

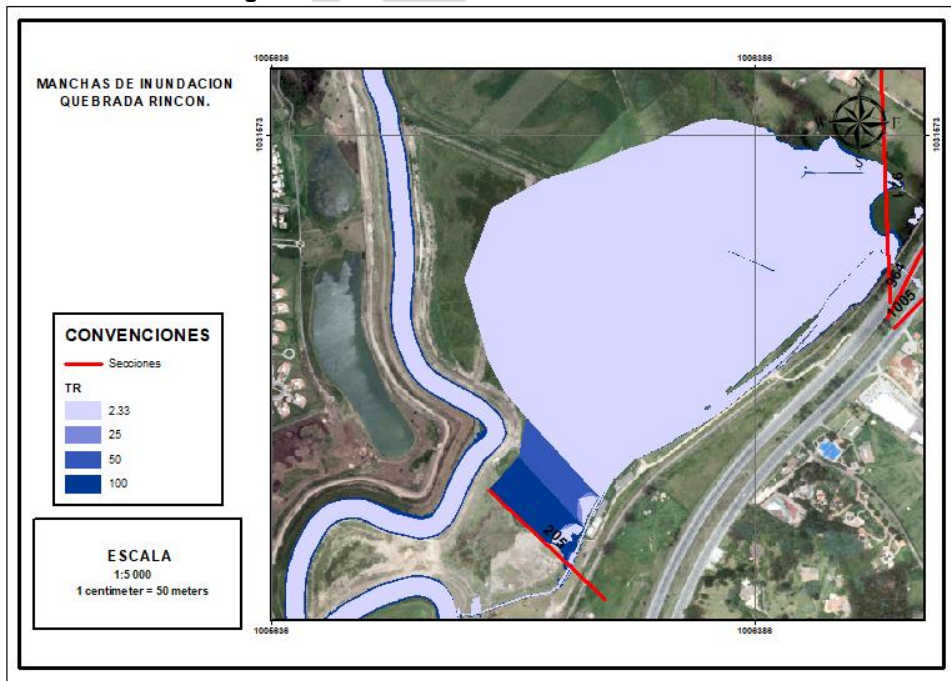
Figura 70. Quebrada Honda k01+611 a k00+335



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

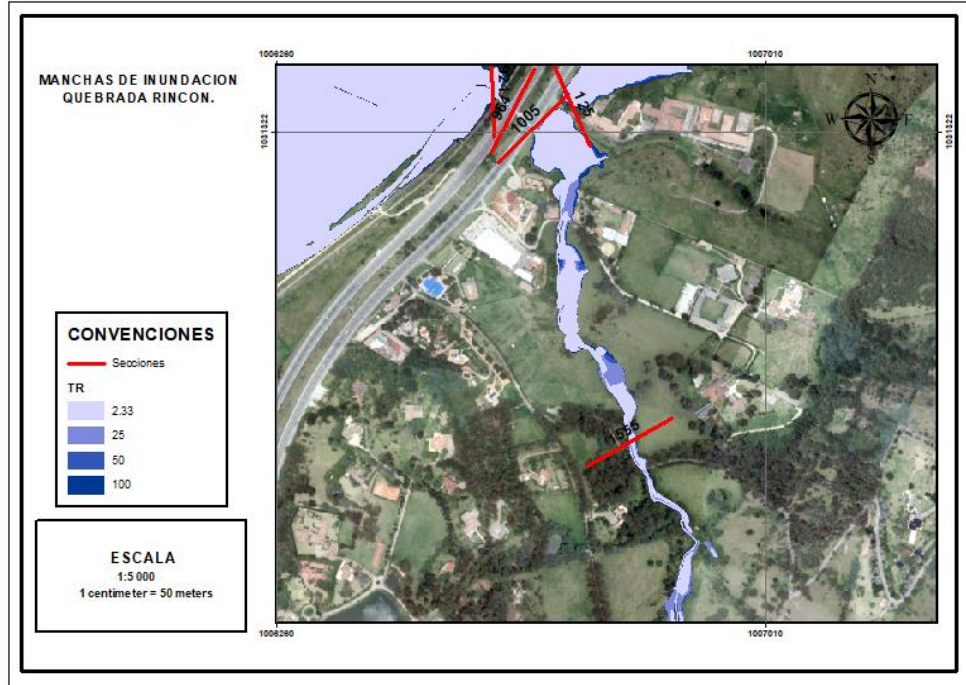
5.2.1.4 Manchas de inundación quebrada Rincón

Figura 71. Quebrada Rincón k00+964 a k00+205



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

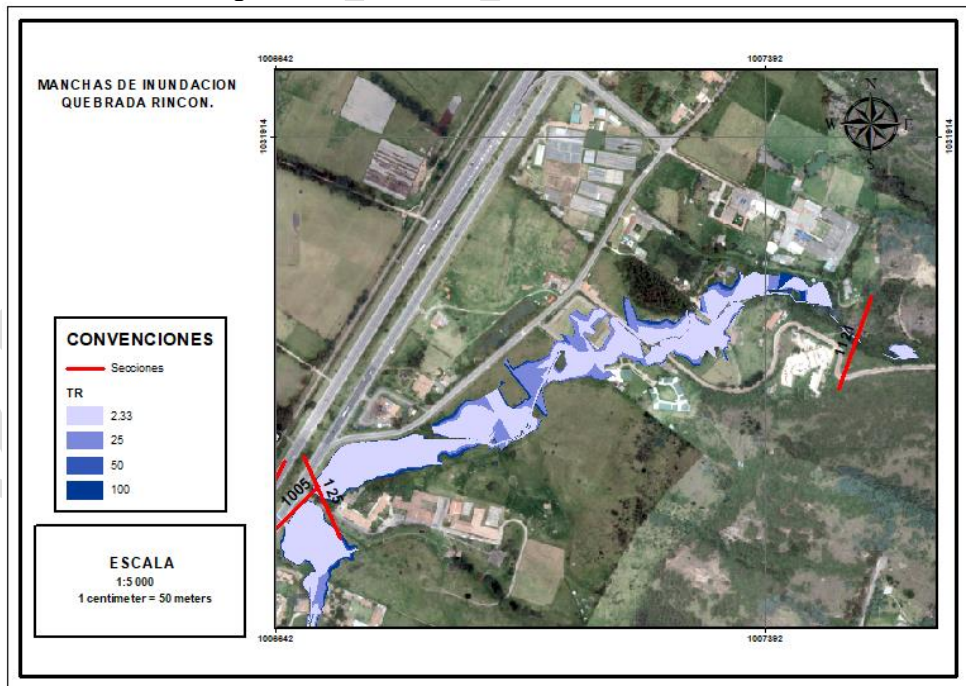
Figura 72. Quebrada Rincón k01+555 a k01+005



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.1.5 Manchas de inundación quebrada Santiamén

Figura 73. Quebrada Santiamén k01+121 a k00+125

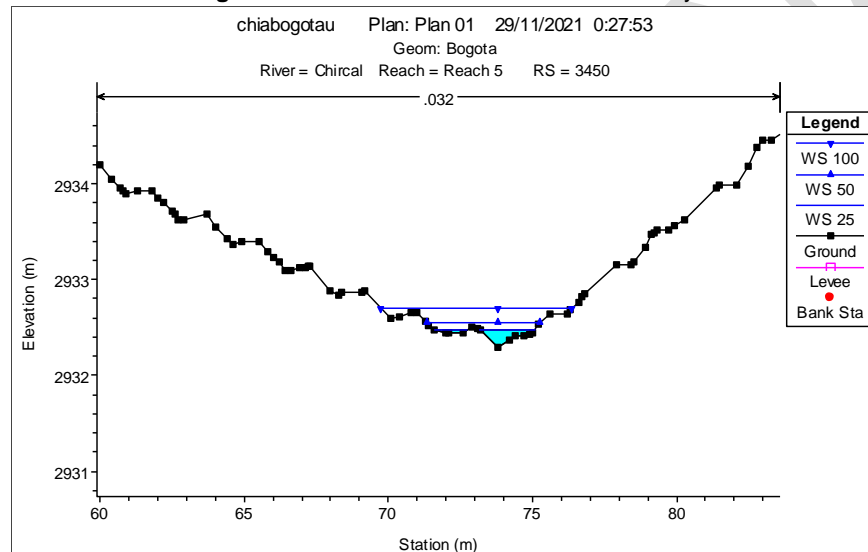


Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.2 Resultados cauces analizados a escala 1:25.000

Los resultados obtenidos de la simulación hidráulica en el software HEC-RAS son las manchas de inundación por desbordamiento de las quebradas Tíquiza, El Chircal y Sindamanoy para los caudales con periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años. Las manchas de inundación se estimaron mediante el cálculo de alturas de lámina de agua en secciones asignadas cada 50 m en la dirección del cauce de los ríos y quebradas antes mencionadas. En la **Figura 74** se muestra como ejemplo una sección transversal de la quebrada Sindamanoy y las alturas de lámina de agua para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años estimados en HEC-RAS. En la **Figura 80** a **Figura 82** se muestran las manchas de inundación de los ríos y quebradas en mención para periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años.

Figura 74. Sección transversal Q. Sindamanoy



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Con las manchas de inundación generadas con HEC-RAS se estimaron por medio de abscisas zonas de inundación por desbordamiento. En la **Tabla 47** se describen las abscisas que delimitan las zonas de inundación por desbordamiento de las quebradas en mención, donde la abscisa k00+000 corresponde a la desembocadura de las quebradas. En la **Figura 80** a **Figura 82** se muestran las zonas de inundación por desbordamiento de las quebradas en mención delimitadas por abscisas. Las áreas de afectación de inundación por desbordamiento se calcularon estimando el área de las manchas de inundación entre las abscisas que se describen en la **Tabla 47**. Las áreas de afectación de inundación por desbordamiento de las quebradas Sindamanoy, Tíquiza y el Chircal para cada uno de los periodos de retorno se describen en la **Tabla 48** y se muestran por cada periodo de retorno.

Tabla 47. Abscisas que delimitan las zonas de inundación por desbordamiento

Ríos y/o quebradas	Abcisas
Sindamanoy	K00+950 – k01+200.
Tíquiza	k00+600 a k01+400. k00+008 a k00+550.
Chircal	K00+400 a k00+480

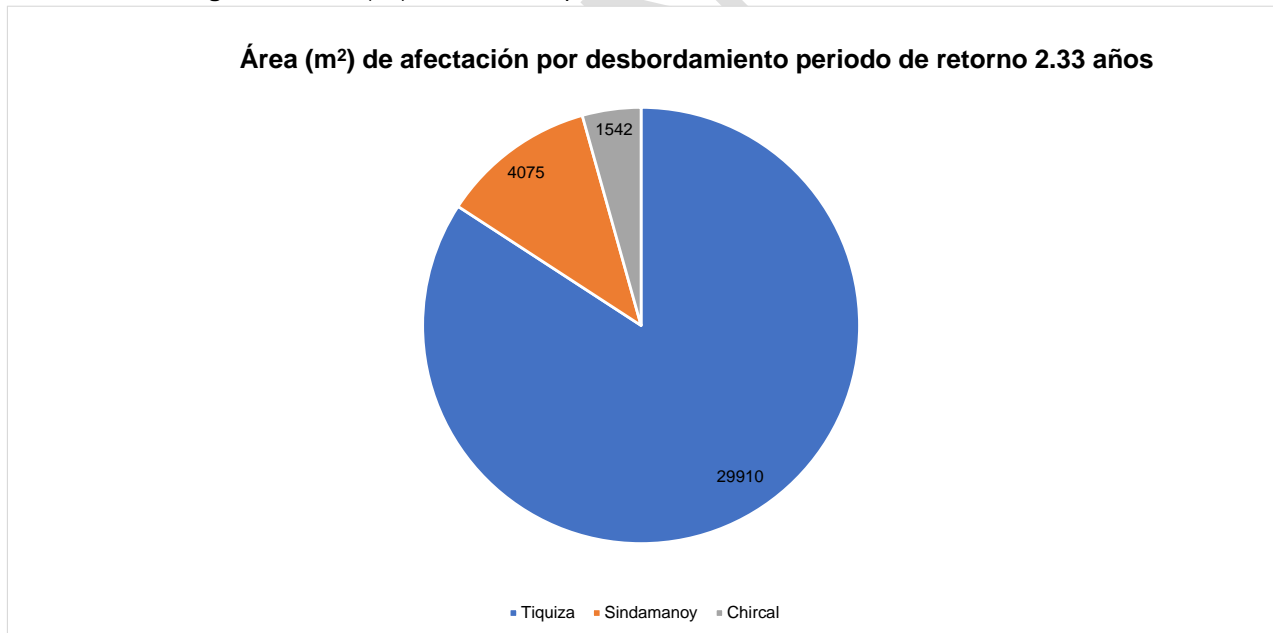
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 48. Áreas de afectación

Ríos y/o quebradas	Periodo de retorno años	Área (m ²)
Tíquiza	100	42099
	50	39026
	25	37043
	2.33	29910
Sindamanoy	100	19039
	50	18498
	25	10699
	2.33	4075
Chircal	100	1645
	50	1622
	25	1558
	2.33	1542

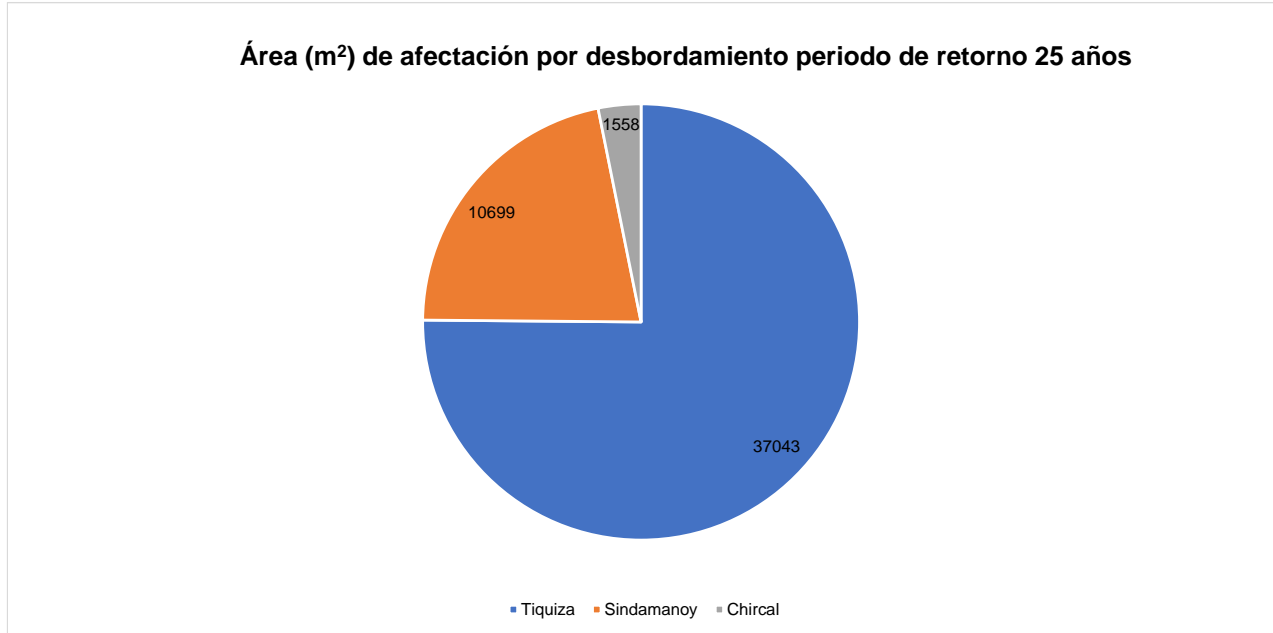
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 75. Área (m²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 2.33 años



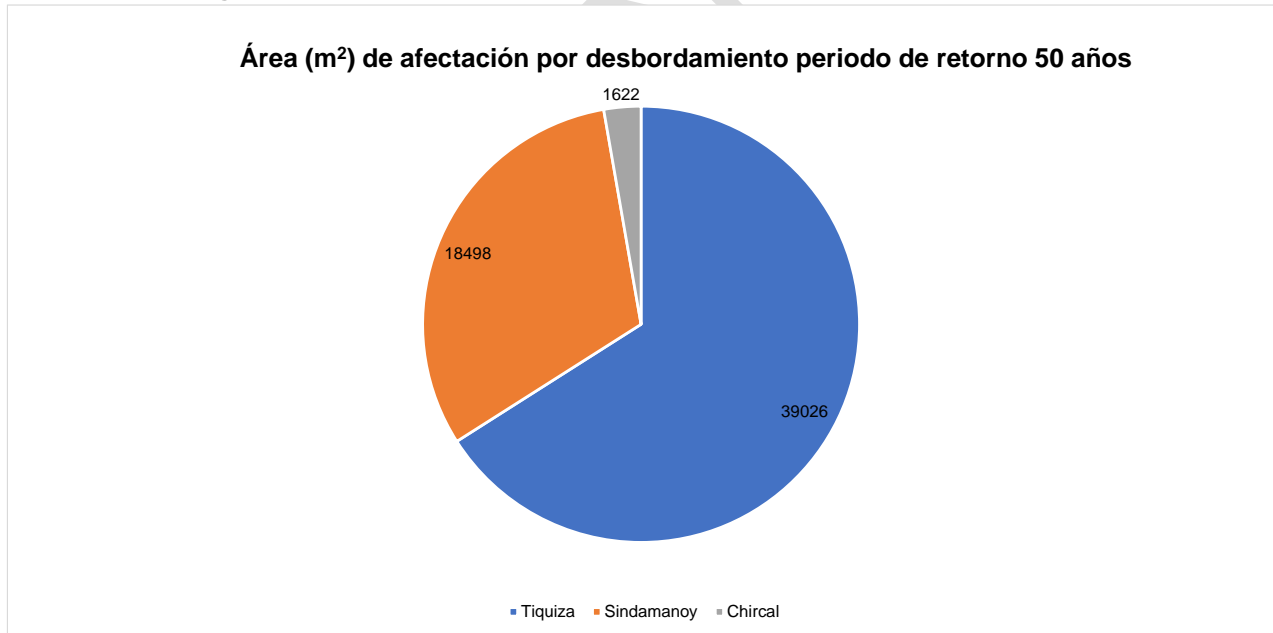
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 76. Área (m²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 25 años



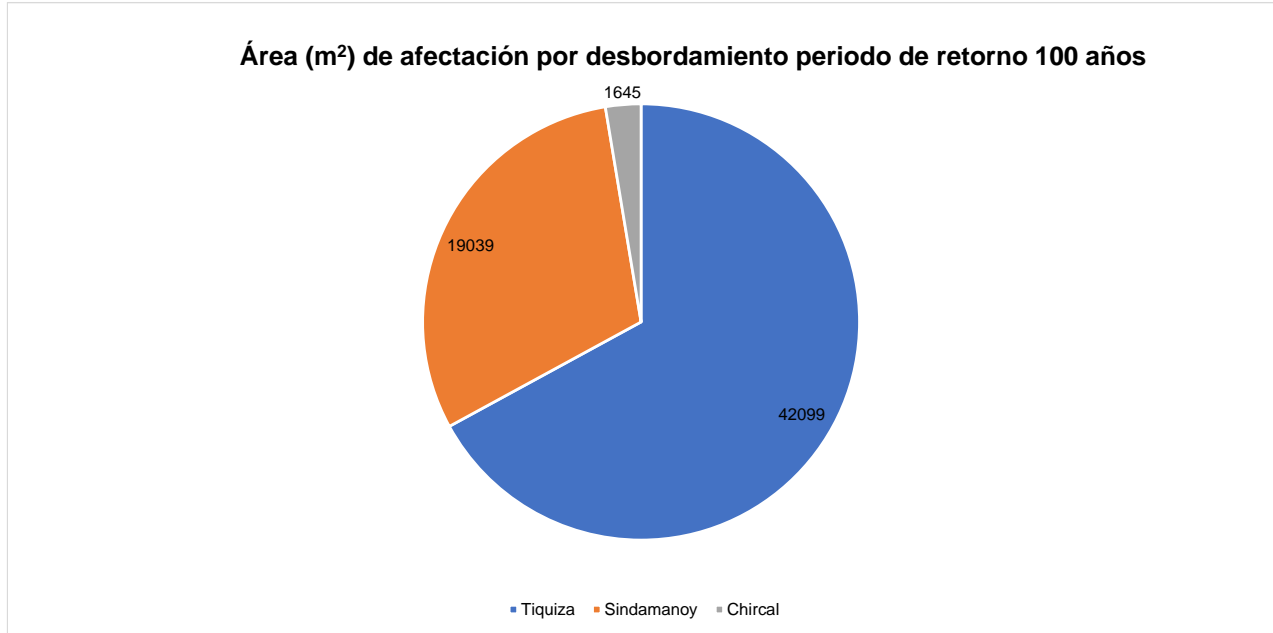
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 77. Área (m²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 50 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

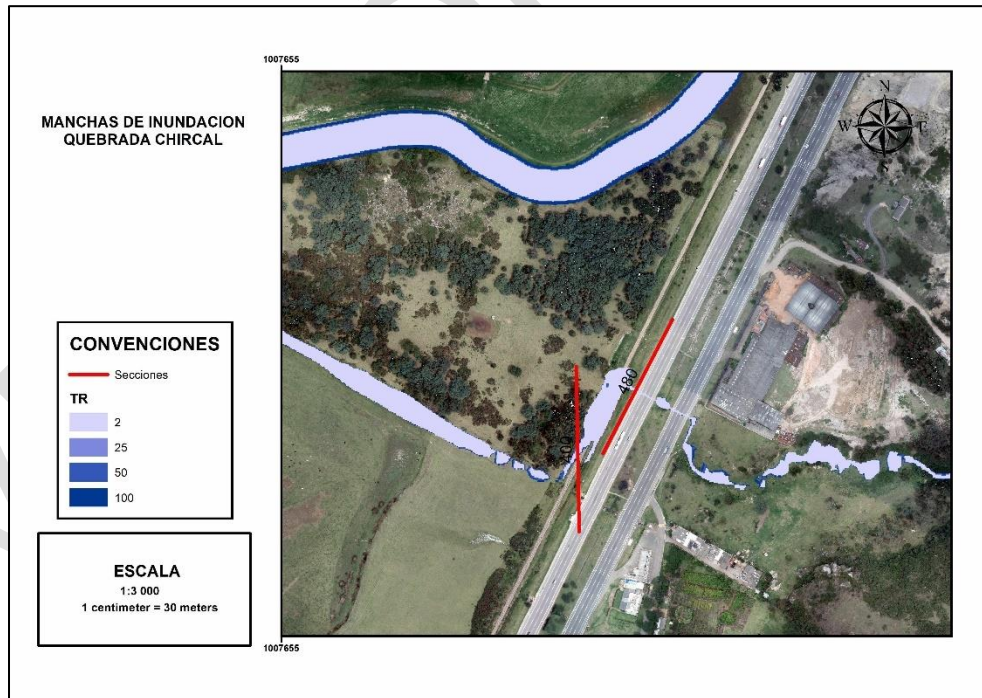
Figura 78. Área (m²) de afectación por desbordamiento Periodo de retorno 100 años



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.2.1 Manchas de inundación Quebrada El Chircal

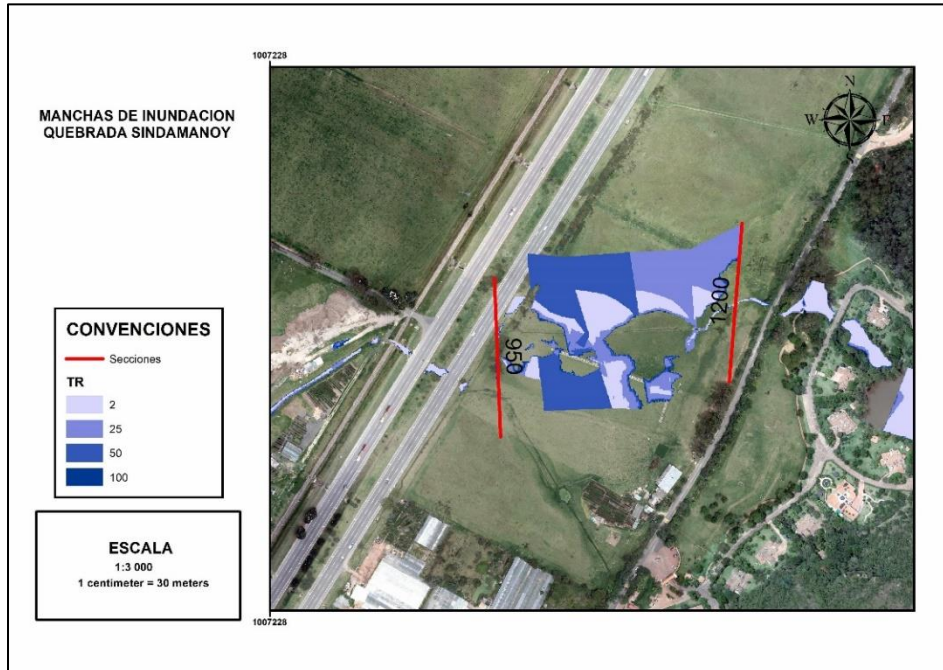
Figura 79. El Chircal K00+400 – k01+480



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.2.2 Manchas de inundación Quebrada Sindamanoy

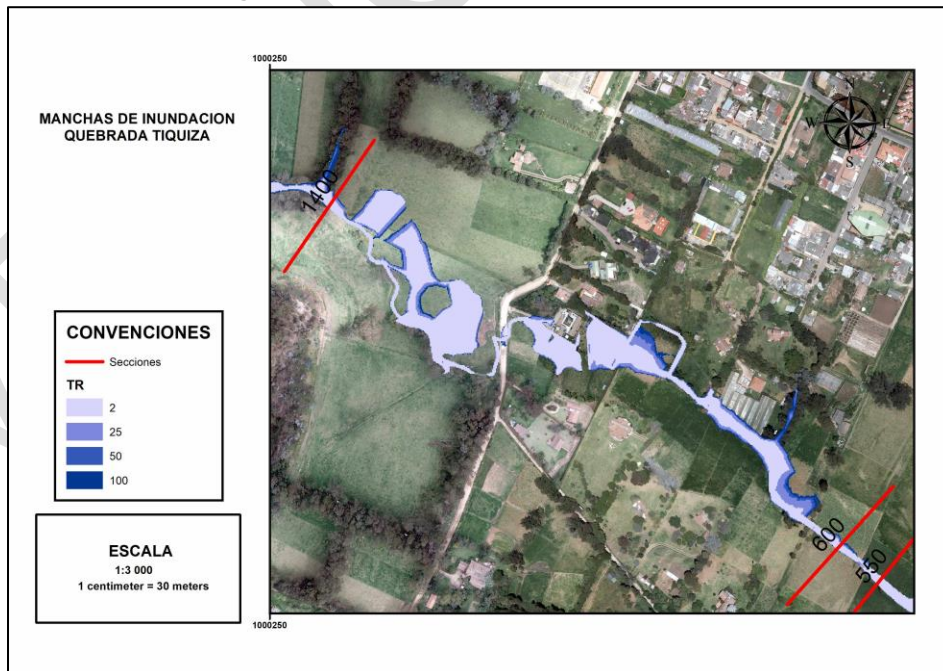
Figura 80. Quebrada Sindamanoy K00+950 – k01+200



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

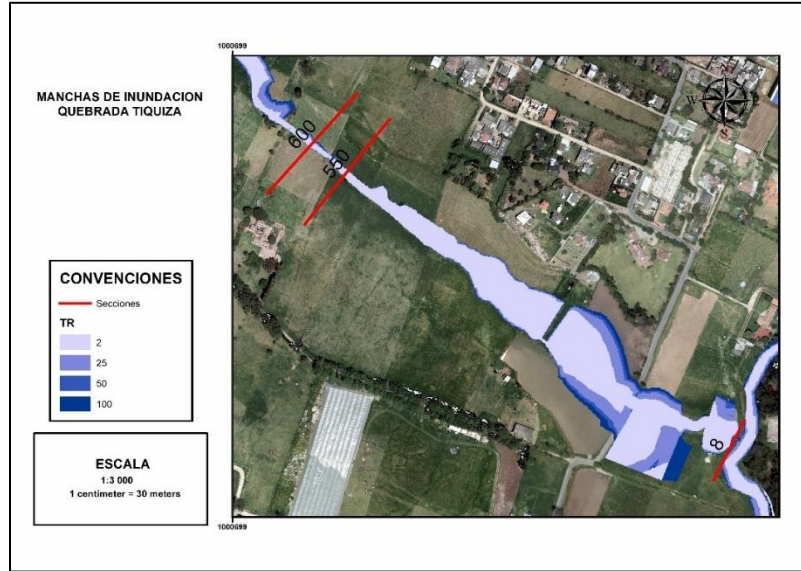
5.2.2.3 Manchas de inundación Quebrada Tíquiza

Figura 81. Quebrada Tíquiza k00+600 a k01+400



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Figura 82. Quebrada Tíquiza k00+008 a k00+550

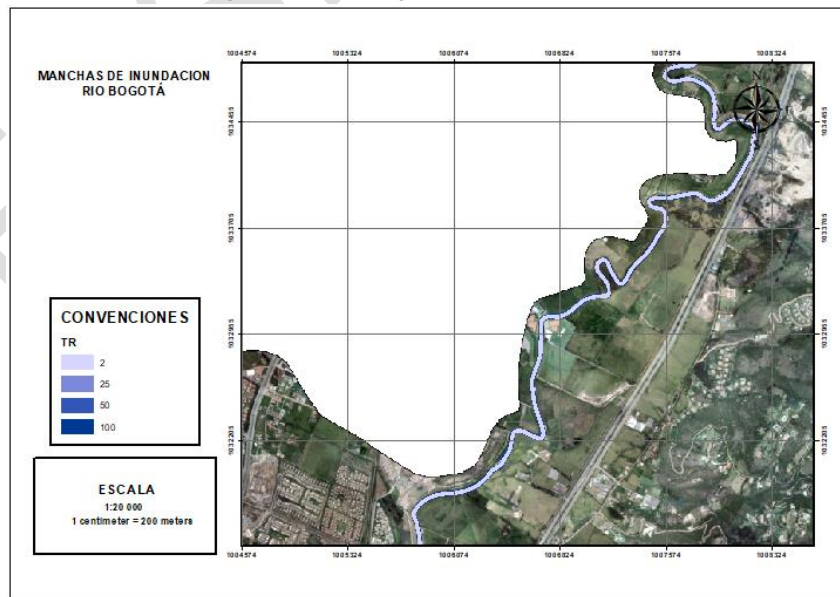


Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

5.2.1 Resultados y análisis de modelación Río Bogotá.

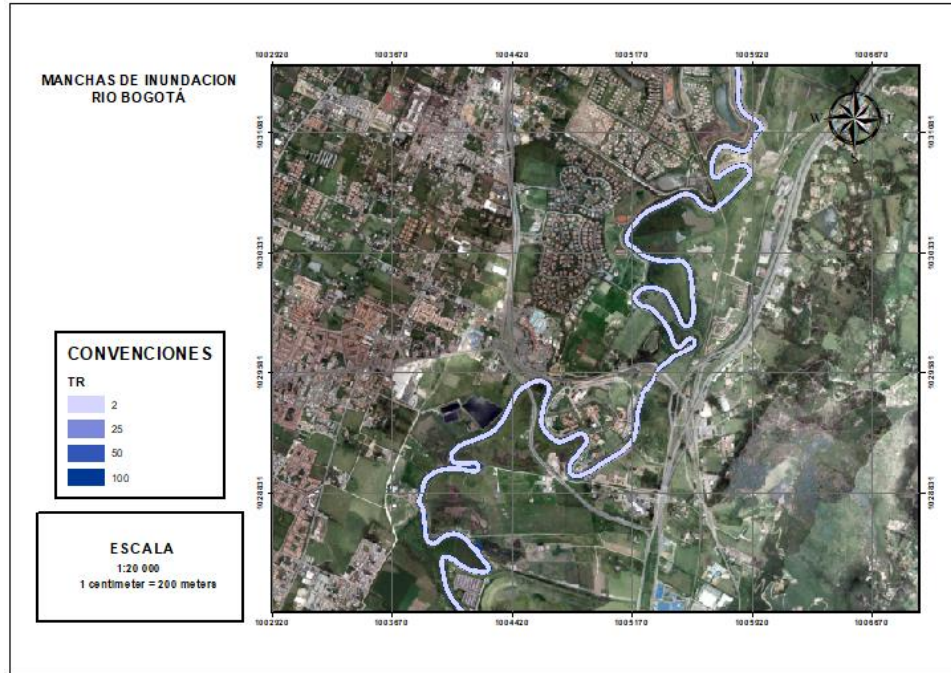
Como resultado de la modelación hidráulica en HEC-RAS se obtienen las manchas de inundación para periodos de retorno de 2, 25, 50 y 100 años, donde no se evidencian áreas que puedan ser afectadas por desbordamiento del cauce del río Bogotá. En las **Figuras 83** a **Figura 86** se muestran las manchas de inundación del río Bogotá adecuado para los periodos de retorno antes mencionados.

Figura 83. Río Bogotá k33+360 a k40+083



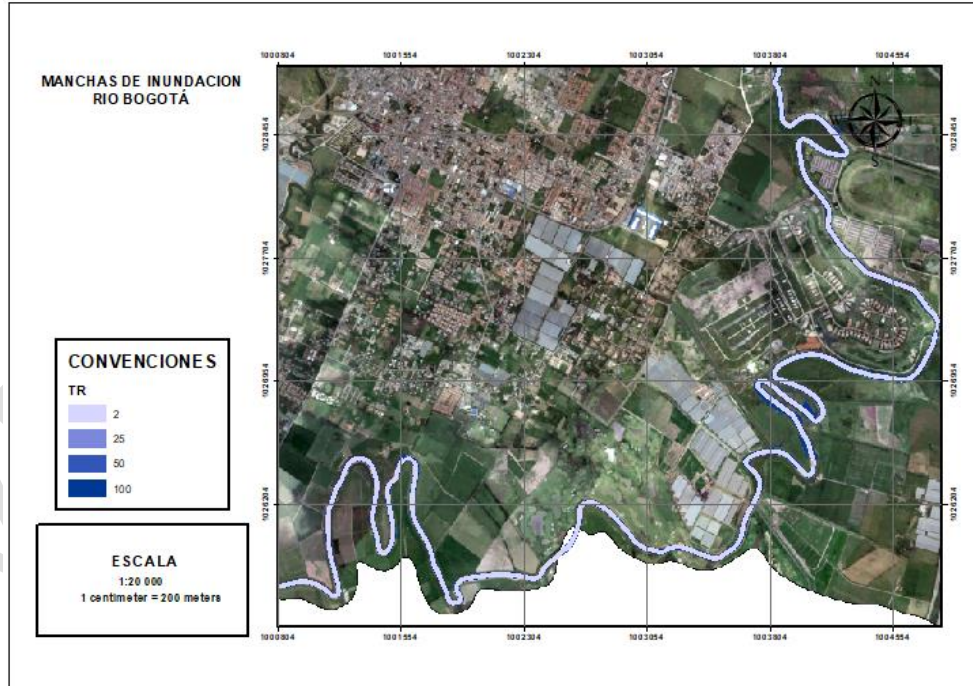
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 84. Río Bogotá k24+183 a k33+360



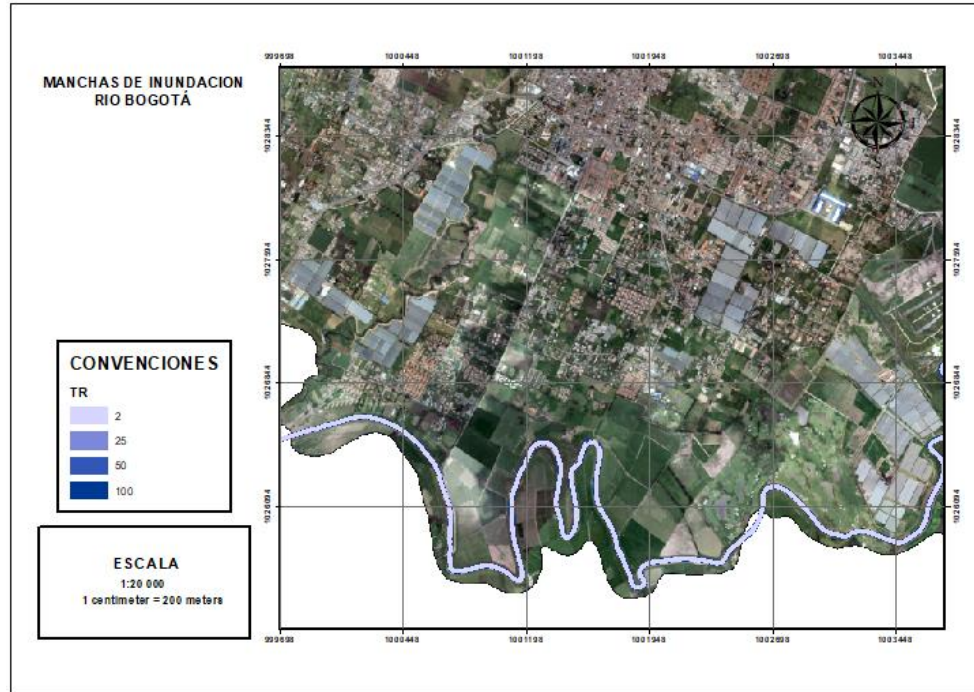
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 85. Río Bogotá k12+247+008 a k25+521



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

Figura 86. Río Bogotá k11+523 a k19+524



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

6. DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN – TIPO ENCHARCAMIENTO

Las inundaciones se dan por acumulación de agua en sitios que normalmente permanecen secos. Se pueden presentar por el desbordamiento de un cuerpo hídrico o por la presencia de precipitaciones inusuales de gran envergadura. Estas últimas se denominan inundaciones por encharcamiento o anegamiento.

Según Hibráhim (2010), el almacenamiento por depresión de la superficie terrestre (un encharcamiento) depende directamente de la topografía como se observa en la **Tabla 49**, pues la pendiente y la susceptibilidad de encharcamiento son inversamente proporcionales. En la medida que la pendiente es menor la susceptibilidad de inundación por encharcamiento es mayor. Las pendientes menores a 5 grados o extremadamente planas son altamente susceptibles a encharcamientos, las pendientes entre los 5 grados y los 10 grados son medianamente susceptibles a los encharcamientos, mientras que las pendientes superiores a los 10 grados de inclinación tienen una susceptibilidad baja por encharcamientos dada la escorrentía que estas generan.

Sin embargo, es mayor la susceptibilidad de encharcamiento una zona de baja pendiente donde las precipitaciones son altas que una zona donde las precipitaciones son bajas. Por lo anterior en desarrollo del mapeo de áreas susceptibles de encharcamiento se tomaron en cuenta estas dos capas de información geográfica, la pendiente y las precipitaciones.

Las pendientes se calcularon en el software ArcGIS partiendo del modelo digital de terreno (DTM) levantado con este propósito con resolución espacial de 1 metro de píxel, haciendo una clasificación de la pendiente en los rangos mostrados en la **Tabla 49**.

Por la escala de mapeo del contrato se aplicó una generalización a todos los polígonos generados en la capa susceptibilidad de encharcamiento con un área menor a 1 hectárea para así poder visualizar un producto consolidado acorde a la escala de las salidas gráficas.

Tabla 49. Susceptibilidad de encharcamiento en base en el almacenamiento por depresión de superficie de Bennet (1998)

Topografía	Pendiente en grados	Susceptibilidad de Encharcamiento	Valoración
Plana	5	Alta	3
Ligeramente inclinada	>5 y <10	Media	2
Inclinada	> 10	Baja	1

Fuente: Ibrahim, H. (2010). Development Soil Parameters for Hydrological Modelling In Upper Sungai Muar.

Al realizar el cruce cartográfico de la pendiente y las precipitaciones se logra determinar la inundación por encharcamiento. La pendiente tiene un peso mayor que las precipitaciones en un encharcamiento debido a que aun cuando las precipitaciones son altas si el terreno es empinado no se van a presentar encharcamientos gracias a la escorrentía de estas zonas inclinadas. Además, para las zonas planas aun cuando las precipitaciones sean bajas se van a presentar encharcamientos de poca duración y magnitud ya sea por la baja cantidad de precipitación, por la evapotranspiración y por infiltración del suelo. Por lo anterior para la precipitación se calculó un peso de 20% mientras que para la pendiente tuvo una asignación de peso del 80% lo que se refleja en la calificación de acuerdo con la matriz de la **Tabla 50**.

Tabla 50. Matriz de Encharcamiento

Pendiente (80%)	Precipitación (20%)		
	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Baja (3)	Alto (3)	Medio (2.8)	Medio (2.6)
Media (2)	Medio (2.2)	Medio (2)	Bajo (1.8)
Alta (1)	Bajo (1.4)	Bajo (1.2)	Bajo (1)

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

En la matriz se refleja en color verde las calificaciones con valor menor a 2 que indican un encharcamiento bajo mientras que para el encharcamiento medio se muestra en color amarillo las calificaciones con valor mayor o igual a 2 y que son diferentes a 3, ya que este valor de calificación indica con color rojo que el encharcamiento es alto.

Este proceso se realiza tanto para el área rural como para la zona urbana utilizando un DEM de la alcaldía de Chía de 1 metro, consiguiendo una capa de Inundación por encharcamiento rural y una capa de Inundación por encharcamiento urbano, las cuales mediante un proceso de superposición cartográfica con la capa de Inundación por desbordamiento produce la capa de Inundación con un cubrimiento total para el área de jurisdicción del municipio.

El encharcamiento además de lo anteriormente mencionado se da por falla del sistema de alcantarillado del municipio.

En el artículo 2.2.2.1.3.2.1.2 del Decreto 1077 de 2015 se establece para los Estudios básicos de amenaza de inundación. “Para determinar las condiciones de amenaza por inundación en suelos urbanos, de expansión urbana y rural, los estudios básicos tienen las siguientes especificaciones mínimas:

1. Área de estudio: Las zonas en las cuales exista la posibilidad de presentarse una inundación sean aledañas o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquellas que hagan parte de su área de influencia.

En el análisis se deben considerar los casos en los que existan precedentes de mecanismos generadores de inundaciones tales como encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas, encharcamiento por deficiencia de drenaje, inundaciones costeras entre otros”.

Para lo anterior, se realizó una zonificación para el fenómeno de inundación por encharcamiento ya que uno de los principales factores que aumenta la amenaza por inundación corresponde al fenómeno de la lluvia con un claro ciclo bimodal de dos periodos fuertes de lluvias, asociados a la característica plana del municipio, no solo en zona urbana si no también en zona rural con pendientes bajas.

En el perímetro urbano el alcantarillado pluvial que comprende la recolección de lluvias, transporte de lluvias y disposición de estas tiene como fin específico evacuar la mayor cantidad de caudal a los cuerpos receptores, aun así, cuando las zonas impermeabilizadas estén aumentando de manera directa al desarrollo urbano del municipio.

El alcantarillado pluvial de la ciudad con la actualización del plan maestro de acueducto y alcantarillado debe proyectarse para tener una mejora en la evacuación de las aguas lluvias además de su mantenimiento periódico de los colectores y redes ya que las fallas comunes son falla funcional en de alcantarillado pluvial (Mantenimiento) o estructural del alcantarillado pluvial (Separación de redes o conexiones erradas).

Fotografía 11. Punto encharcamiento (4°52'2.8"N - 74°3'22.8" O) 7/12/2021



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Fotografía 12. Registro histórico de encharcamiento



Fuente: Sabanas Noticias

Las fallas funcionales del alcantarillado pluvial de Chía:

- Falta de capacidad hidráulica con precipitaciones de duración e intensidad mayor, ya que la impermeabilización del suelo aumenta la velocidad de entrada al sistema, arrastre de sedimentos y posibles remansos al ingreso de los cuerpos receptores.
- Disminución de la capacidad hidráulica por residuos y sedimentos arrastrados en el funcionamiento cotidiano del sistema.

Las fallas estructurales del alcantarillado:

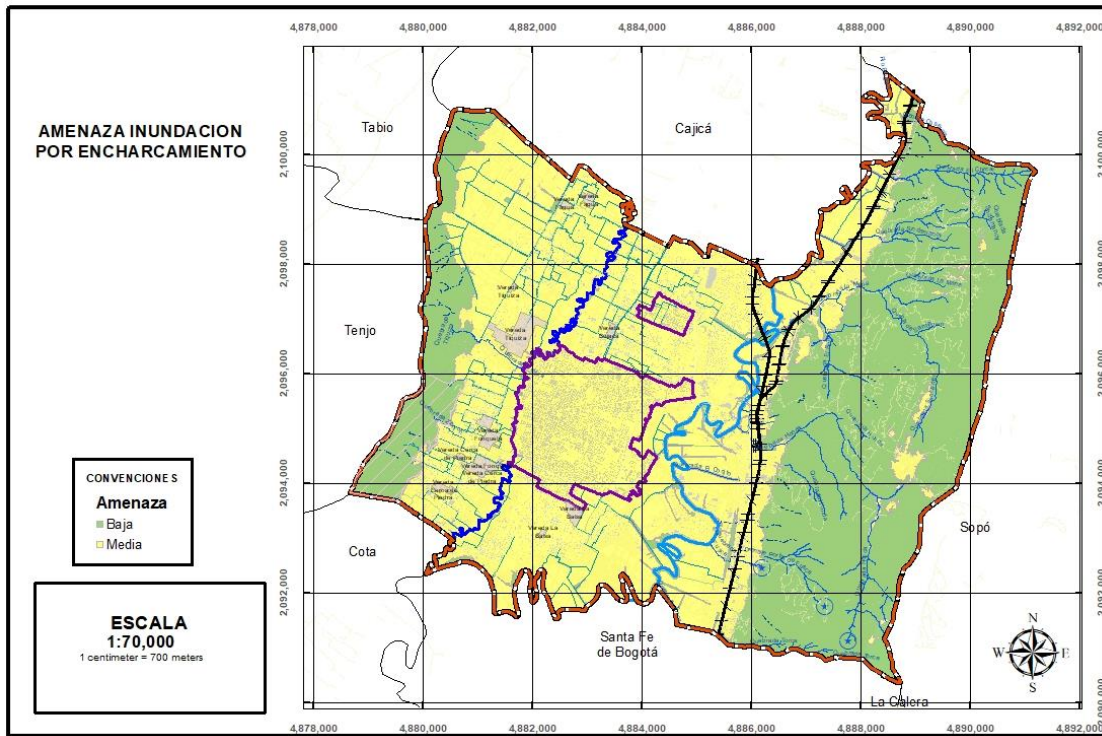
- Combinación de alcantarillados domésticos y pluviales.
- Conexiones erradas.

Con las posibles causas de fallas, corresponde a la empresa de servicios públicos de Chía se estudie a mayor detalle en el Plan Maestro de Acueducto y alcantarillado del municipio.

Las zonas planas correspondientes a la zona rural donde la tendencia de amenaza por encharcamiento es media, existen pocas zonas impermeabilizadas o urbanizadas y la tasa de infiltración es gobernada principalmente por las condiciones cerca de la superficie del suelo como cobertura y uso del suelo donde en lluvias muy intensas afectan la velocidad de infiltración generando la condición de encharcamiento.

En la geología de las zonas planas se caracteriza por suelos arcillosos que tiene capacidad de retener más agua y menos velocidad de infiltración el subsuelo adicional el tipo de cobertura que exista en la zona hace un escenario ideal para los encharcamientos.

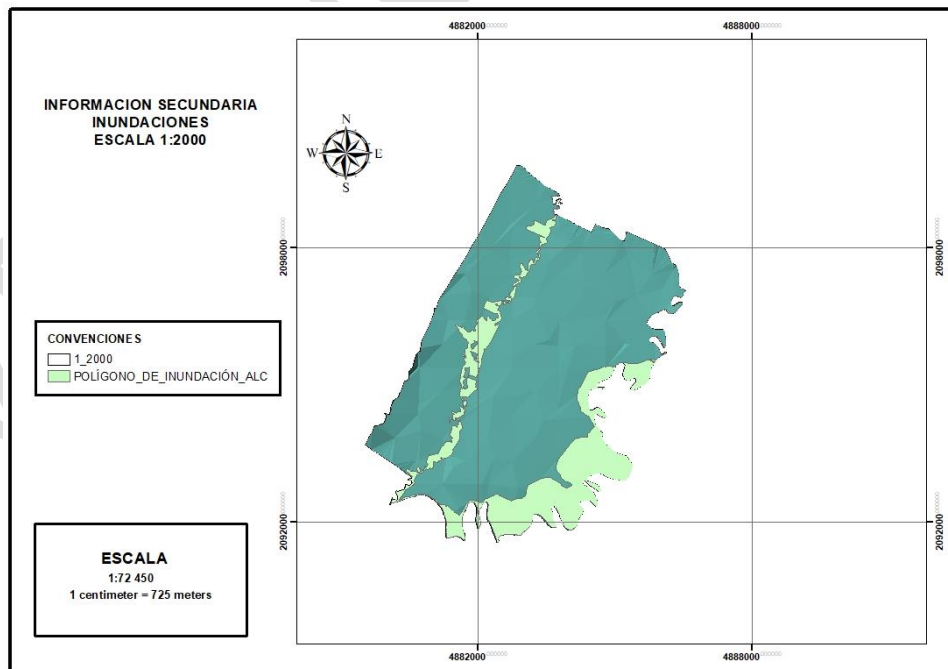
Figura 87. Amenaza inundación por Encharcamiento



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

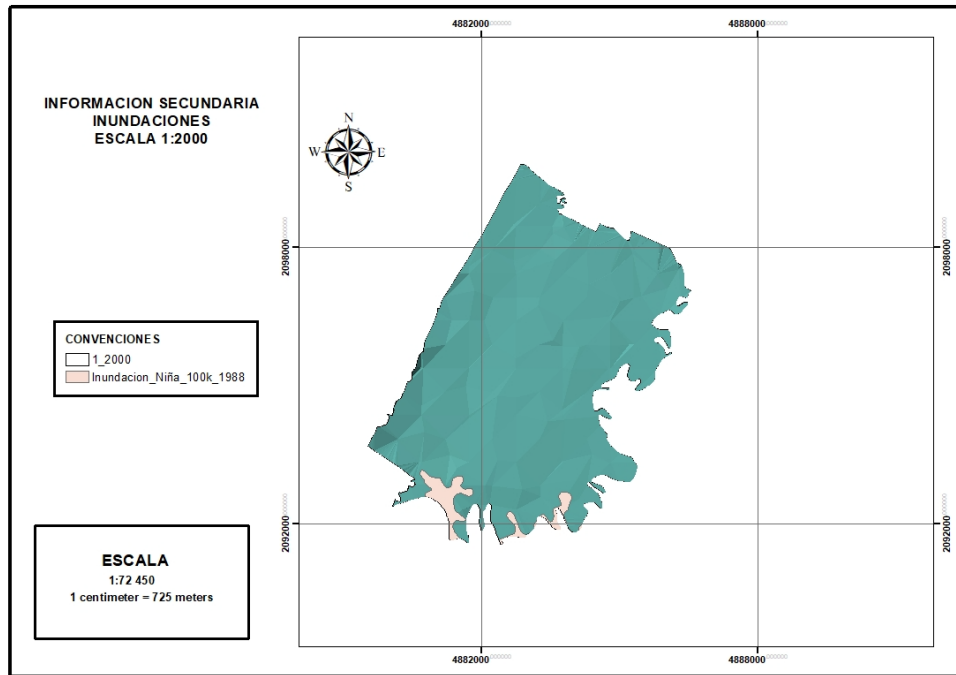
7. INVENTARIO DE PROCESOS

Figura 88. Información secundaria inundaciones alcaldía polígono 1:2000 de inundación 2011



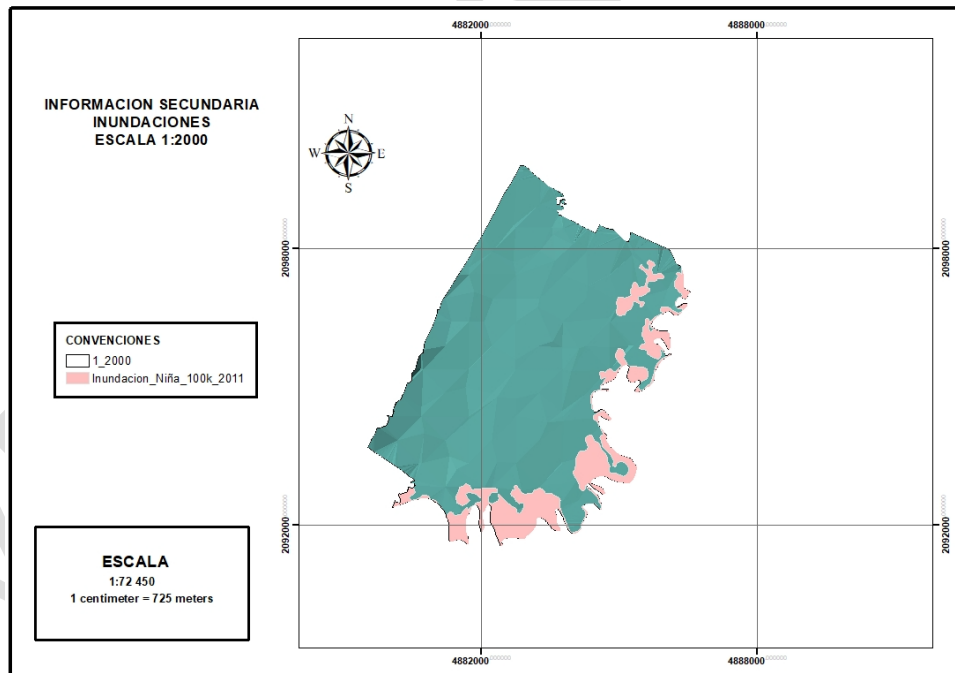
Fuente: Alcaldía municipal de Chía.

Figura 89. Inundación 1998 Chía IDEAM



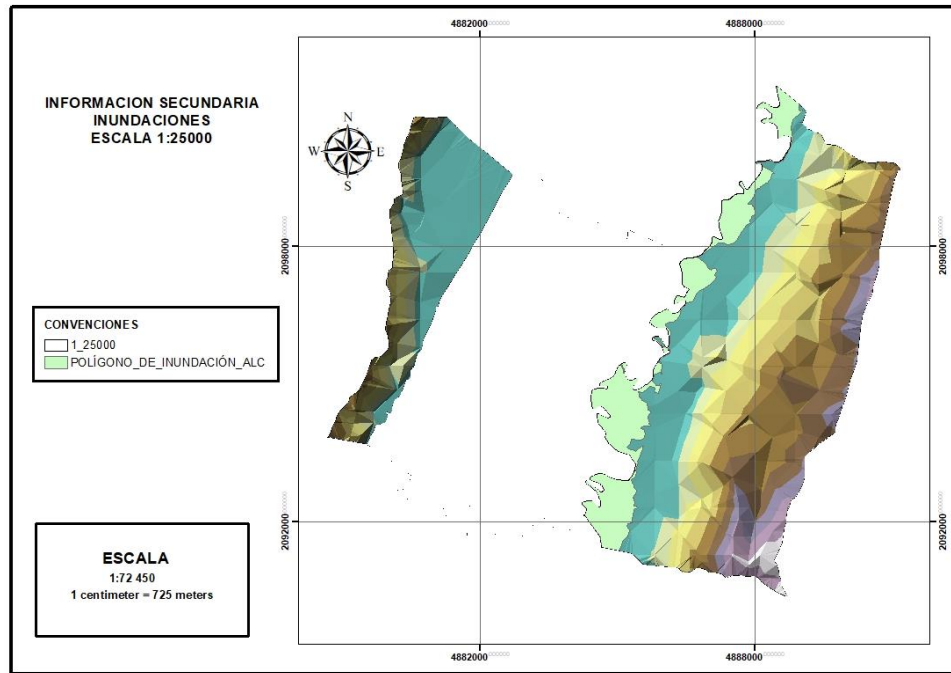
Fuente: IDEAM.

Figura 90. Inundación 2011 Chía IDEAM



Fuente: IDEAM.

Figura 91. Información secundaria inundaciones alcaldía polígono 1:25000 de inundación 2011



Fuente: Alcaldía municipal de Chía.

El aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos, producto de la variación en las condiciones atmosféricas, ha desencadenado la ocurrencia de eventos tales como movimientos en masa y erosión generalizada que afectan las vertientes y partes altas de las cuencas incluyendo inundaciones y avenidas torrenciales que afectan los cauces y la cuenca en su conjunto. Estos eventos no solo ponen en riesgo la vida de la población, sino que causan afectación grave a los bienes y a la naturaleza, repercutiendo en la calidad de vida de la población.

Estos eventos fueron cartografiados con el apoyo de la Alcaldía, gestión del riesgo, bomberos y defensa civil (Figura 88 a Figura 91).

En el recorrido de campo adicionales se encontraron los puntos presentados en la Tabla 51.

Tabla 51. inventario de procesos inundación

Punto	Longitud	Latitud	Tipo de Riesgo	Observación
1	4879639.741	2094559.294	Inundación	Escaleras con alto flujo de agua debido a la modificación realizada por los habitantes del resguardo indígena, construcciones sin estudios previos
2	4881362.462	2094242.693	Inundación	En eventos hidrológicos máximos la escorrentía inunda las viviendas colindantes a la vía
3	4883022.165	2099482.258	Inundación	Aguas lluvia mal drenadas
4	4882269.818	2097003.092	Inundación	Chucua de Fagua, encharcamientos
5	4882906.819	2097818.559	Inundación	Chucua de Fagua inunda los predios por canalización artesanal, afectación a varios predios

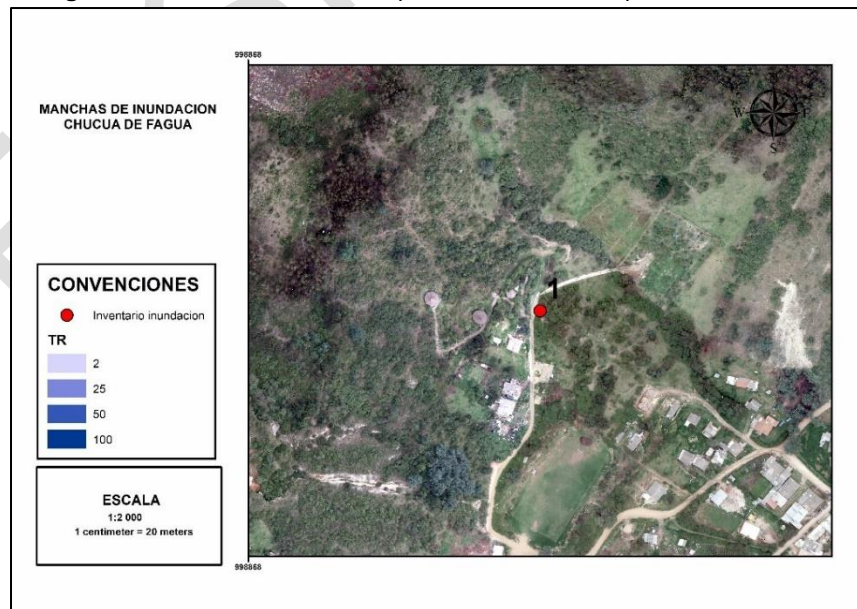
Punto	Longitud	Latitud	Tipo de Riesgo	Observación
6	4882699.491	2098567.057	Inundación	Chucua de Fagua, defensa civil indica que en este punto se inundan varios predios en temporada invernal
7	4882973.449	2097613.343	Inundación	Desbordamiento de Chuca de Fagua en inmediaciones de un ancianato, canalización de Chucua de Fagua a una alcantarilla

Coordenadas en origen único ("Colombia").

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Los eventos de inundación cartografiados que se describen en la **Tabla 51** se compararon con las manchas de inundación derivadas de la modelación hidráulica en HEC-RAS, encontrado un área de afectación concentrada en el área de influencia de Chucua de Fagua y Río Frío. Los puntos de inventario de procesos 1, 2 y 3 en concordancia con los datos reportados por la comunidad además de la topografía y la distancia de estos inventarios a afluentes tales como Chucua de Fagua y/o río Frío no corresponden a inundación por desbordamiento sino a encharcamiento por posibles deficiencias en el sistema de alcantarillado y/o vallados. En el caso particular del punto número 1 del inventario de procesos es posible que este siendo afectado por una quebrada al sur oeste del municipio que no es parte de este estudio por su bajo caudal. Los puntos del inventario de procesos 4, 5, 6 y 7 en concordancia con los reportes de la comunidad la topografía del lugar y la modelación hidráulica en HEC-RAS corresponden a inundación por desbordamiento debido a su cercanía a Chucua de Fagua. Es de resaltar que los puntos del inventario de procesos 5 y 7 están en una zona de alto impacto por la intervención del cauce natural de chucua de Fagua lo que retiene el flujo natural de agua y disminuye la capacidad de Chucua de Fagua para transportar caudales altos en periodos de retorno desde 2.33 años. En la **Figuras 92 a 98** se muestran las manchas de inundación por desbordamiento de Chuca de Fagua y el inventario de procesos de inundación por desbordamiento elaborado en colaboración con bomberos y defensa civil.

Figura 92. Punto 1 Inventario de procesos inundación por encharcamiento



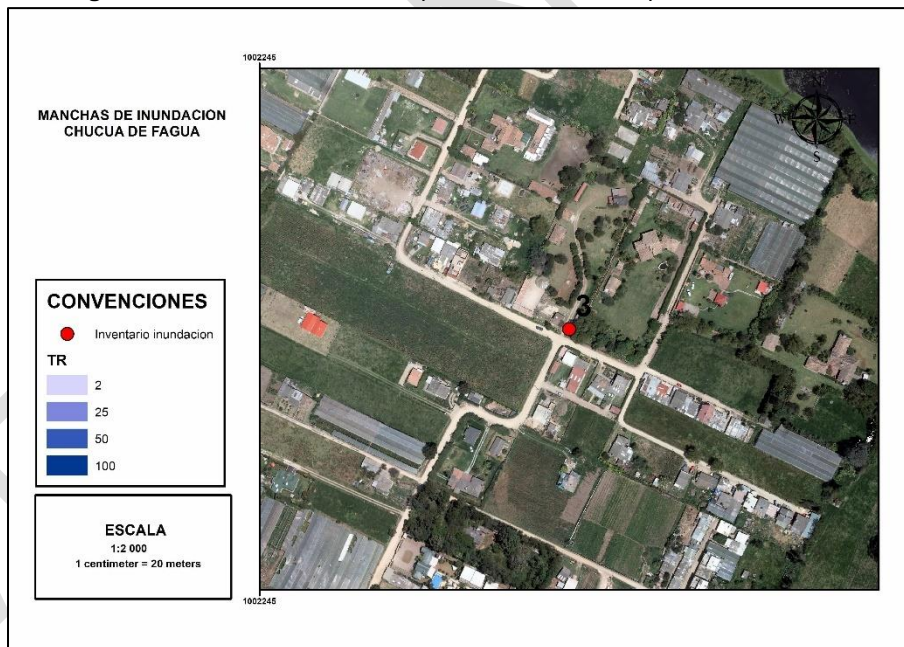
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 93. Punto 2 Inventario de procesos inundación por encharcamiento



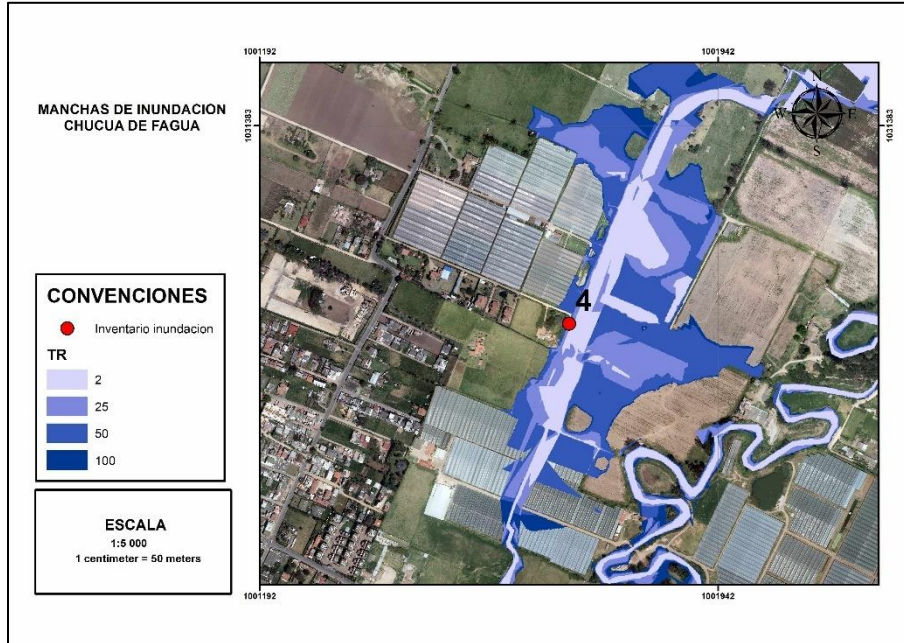
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 94. Punto 3 Inventario de procesos inundación por encharcamiento



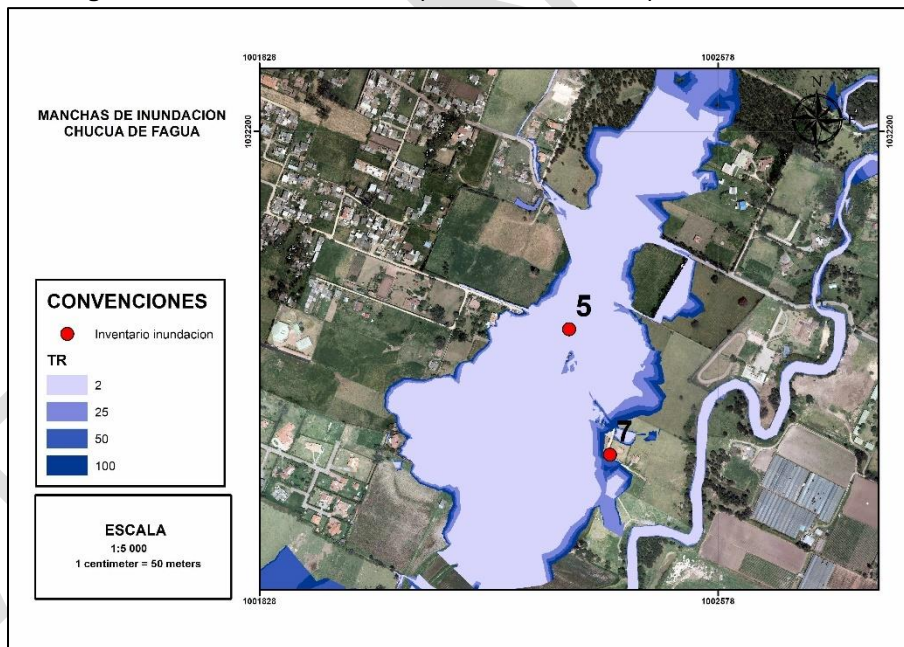
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 95. Punto 4 Inventario de procesos inundación por desbordamiento



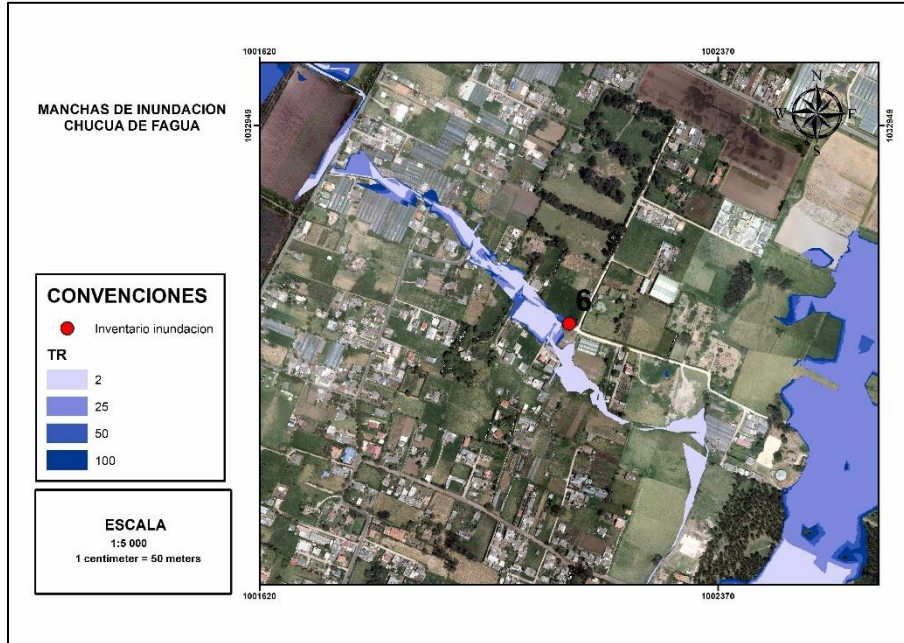
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 96. Punto 5 Inventario de procesos inundación por desbordamiento



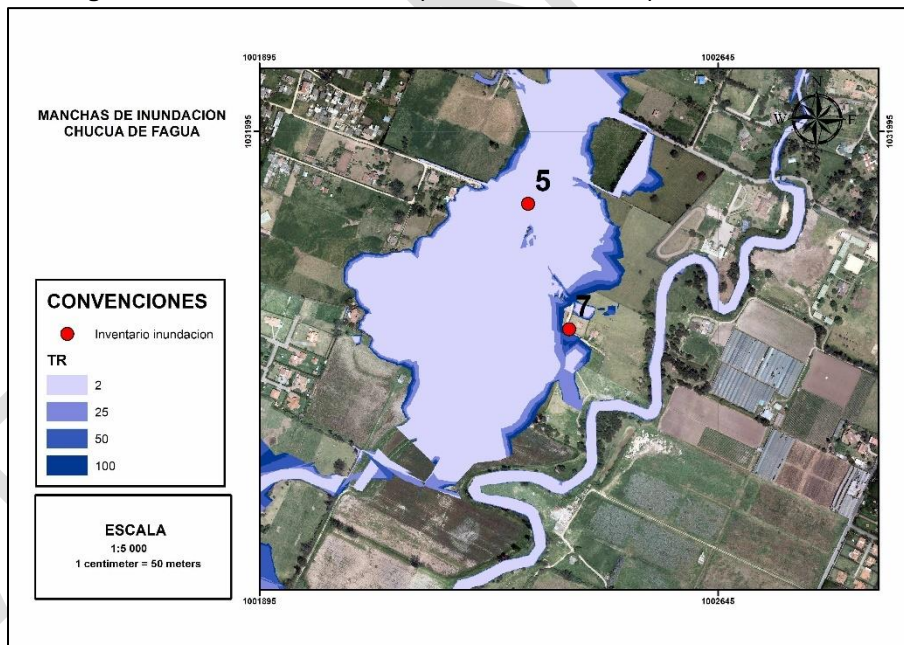
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 97. Punto 6 Inventario de procesos inundación por desbordamiento



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 98. Punto 7 Inventario de procesos inundación por desbordamiento



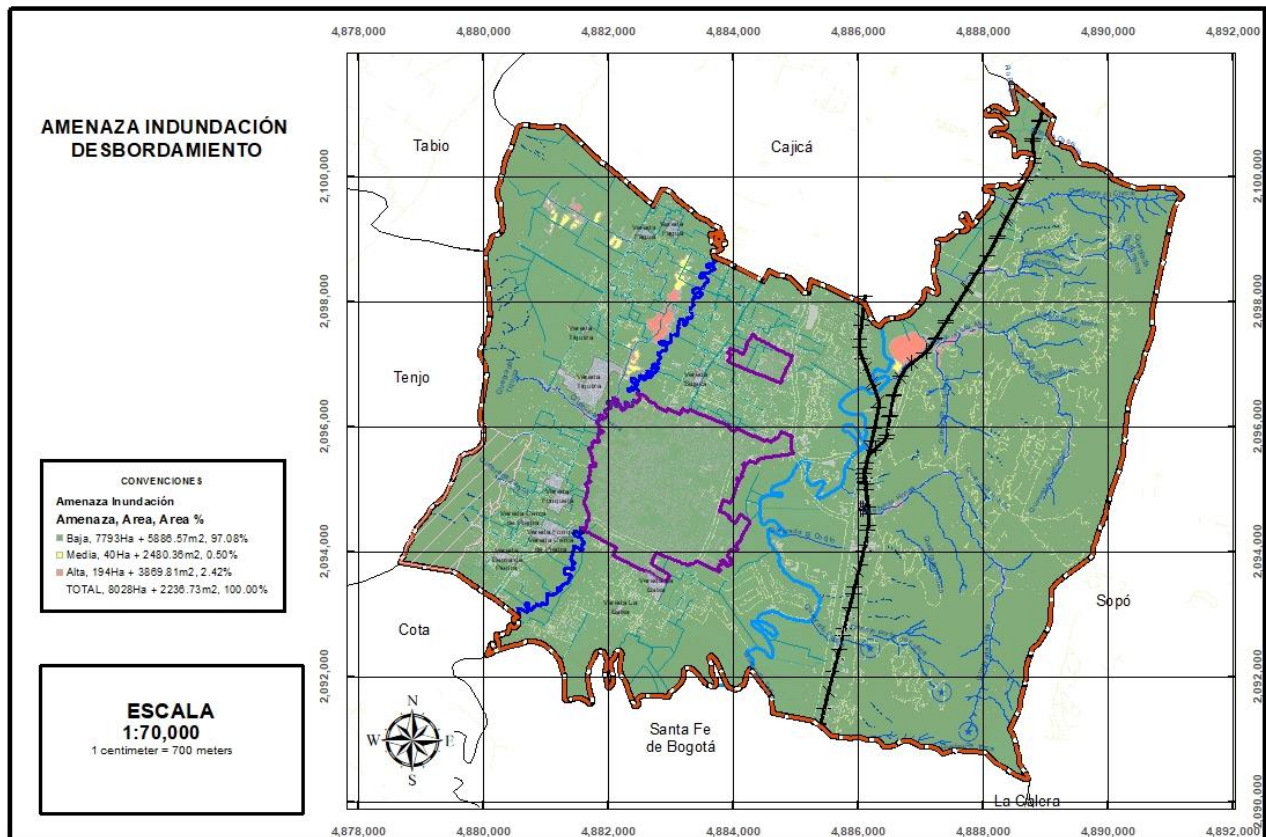
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

8. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN RURAL

Se presentan las salidas gráficas resultado de la zonificación de la amenaza por el fenómeno natural de inundaciones tanto por desbordamiento de las principales corrientes hídricas como por encharcamiento.

8.1 Amenaza inundación rural desbordamiento

Figura 99. Amenaza inundación desbordamiento Rural



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 52. Áreas en amenaza por inundación desbordamiento Rural

Amenaza	Área	Área %
Alta	194Ha + 3869.81m ²	2.42%
Baja	7793Ha + 5886.57m ²	97.08%
Media	40Ha + 2480.36m ²	0.50%
TOTAL	8028Ha + 2236.73m ²	100.00%

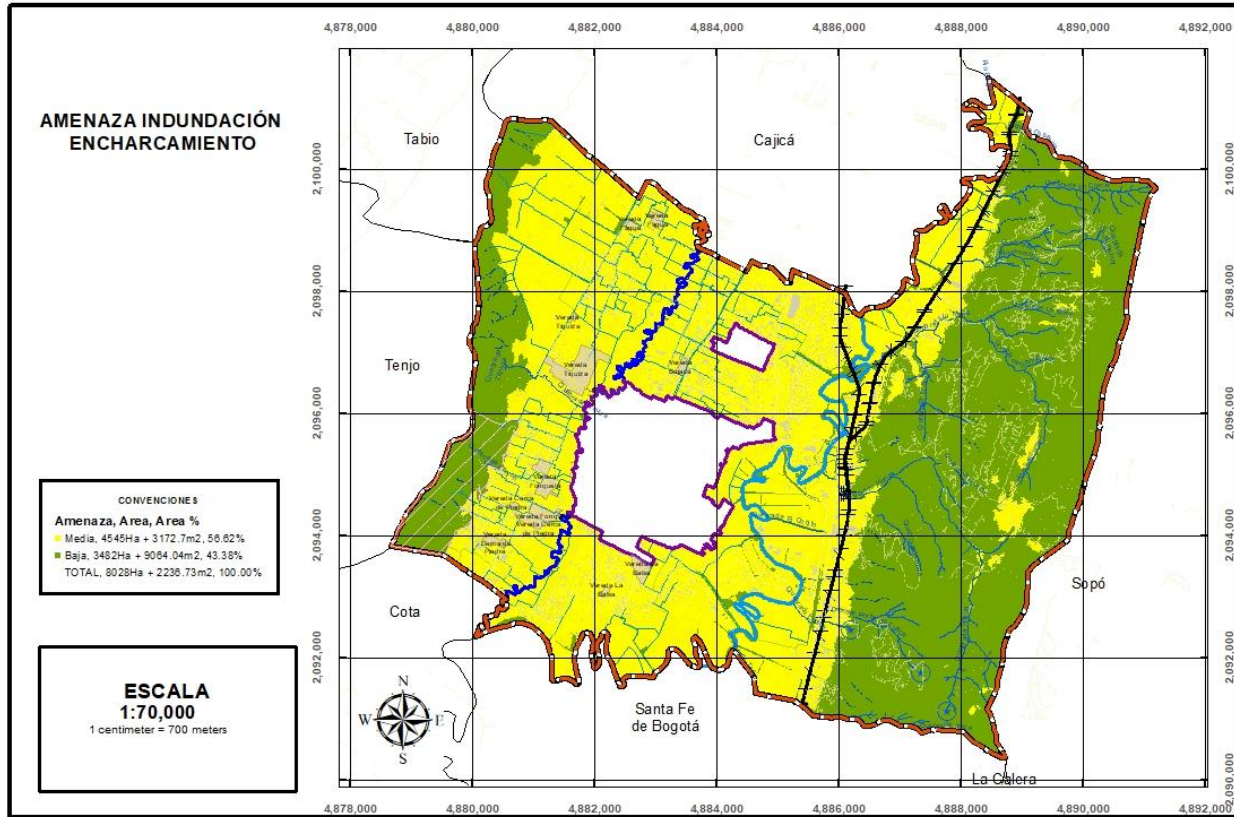
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Con la adecuación hidráulica del río Bogotá el caudal que transita para periodos de retorno altos se mantiene en el vaso del río sin generar desbordamientos. Para la quebrada el Rincón, y la Chucua de Fagua existen zonas con desbordamientos altos, para la quebrada El Rincón a la entrega del río Bogotá donde al momento de realizar el modelo hidráulico la geometría del cauce

no contiene el caudal y para la Chucua desde su parte media se presentan desbordamientos por la falta de capacidad hidráulica de la misma y pasos reducidos que generan cuello de botella.

8.2 Amenaza inundación rural encharcamiento

Figura 100. Amenaza inundación encharcamiento Rural



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

En la sabana de Bogotá por la característica de pendientes bajas y zonas planas como es el caso del municipio de Chía prevalece una condición media para encharcamiento en gran parte del municipio, por el tipo de características de baja capacidad de filtración, deficiente capacidad hidráulica del alcantarillado, remansos de los cabezales de descarga en inundaciones entre otras.

Tabla 53. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento Rural

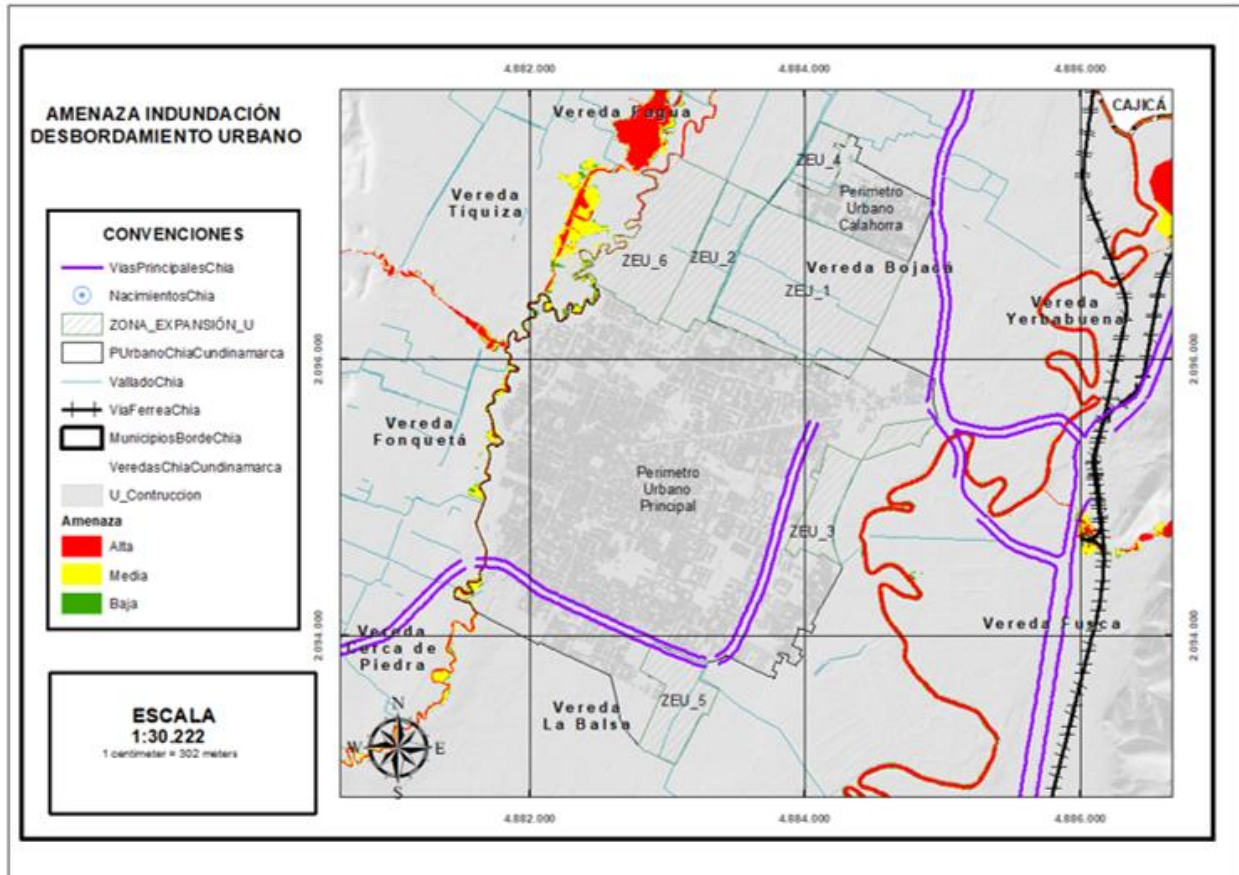
Amenaza inundación desbordamiento Rural		
	Hectáreas	Porcentaje %
Alta	0	0
Media	3410.34	48.05
Baja	3686.60	51.95

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

9. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN URBANO Y ZONAS DE EXPANSIÓN

9.1 Amenaza inundación urbano desbordamiento

Figura 101. Amenaza inundación desbordamiento Urbano



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

El resultado para la zonificación de amenaza por desbordamiento el río Frío que es la corriente hídrica que pasa junto al polígono urbano y posible zona de expansión del municipio de Chía, no presenta escenarios de desbordamiento, las zonas dadas en históricas están dadas por remansos en crecientes del río en las llegadas del alcantarillado pluvial.

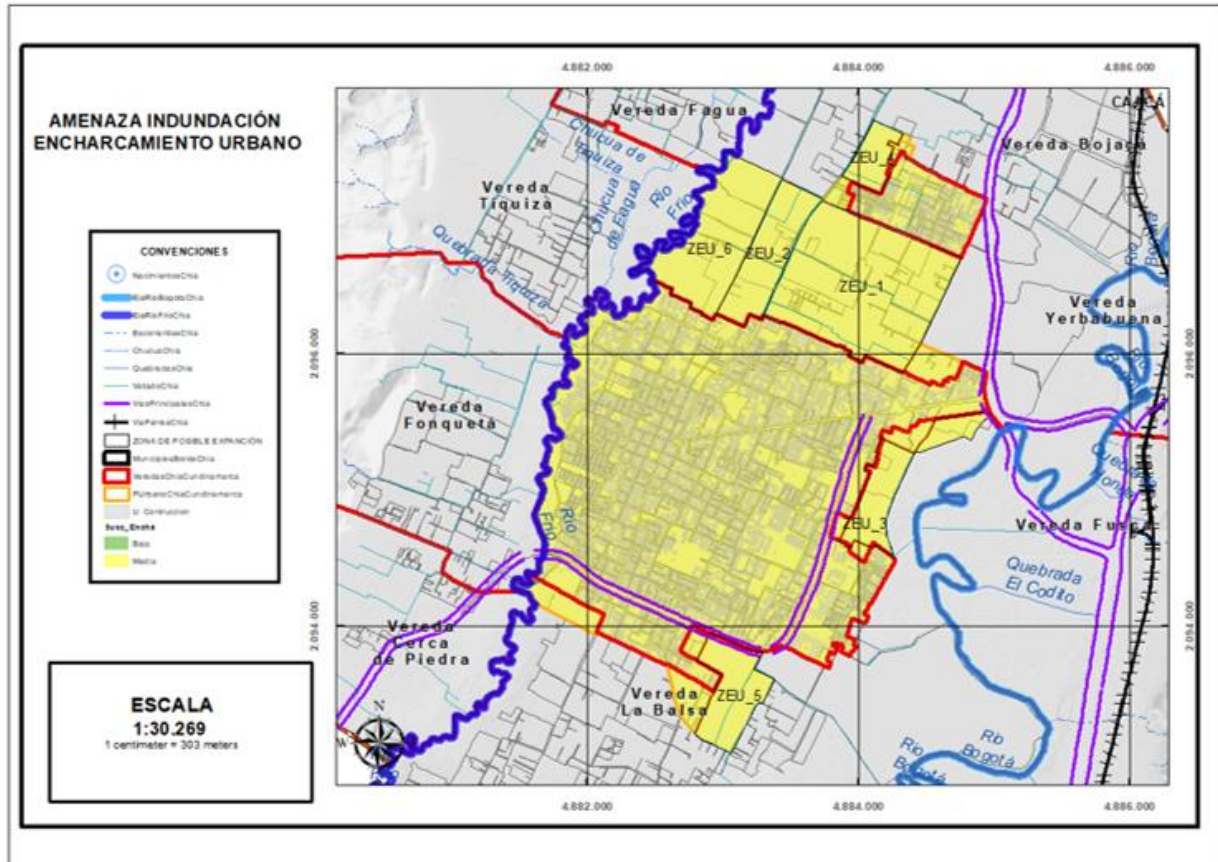
Tabla 54. Áreas en amenaza por inundación desbordamiento Urbano

Amenaza inundación desbordamiento Urbano		
	Hectáreas	Porcentaje %
Alta	0.88	0.09
Media	2.72	0.29
Baja	4.24	0.45

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS.

9.2 Amenaza inundación urbano encharcamiento

Figura 102. Amenaza inundación encharcamiento Urbano



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 55. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento Urbano

Amenaza inundación encharcamiento Rural		
	Hectáreas	Porcentaje %
Alta	0.00	0.00
Media	928.88	98.66
Baja	12.62	1.34

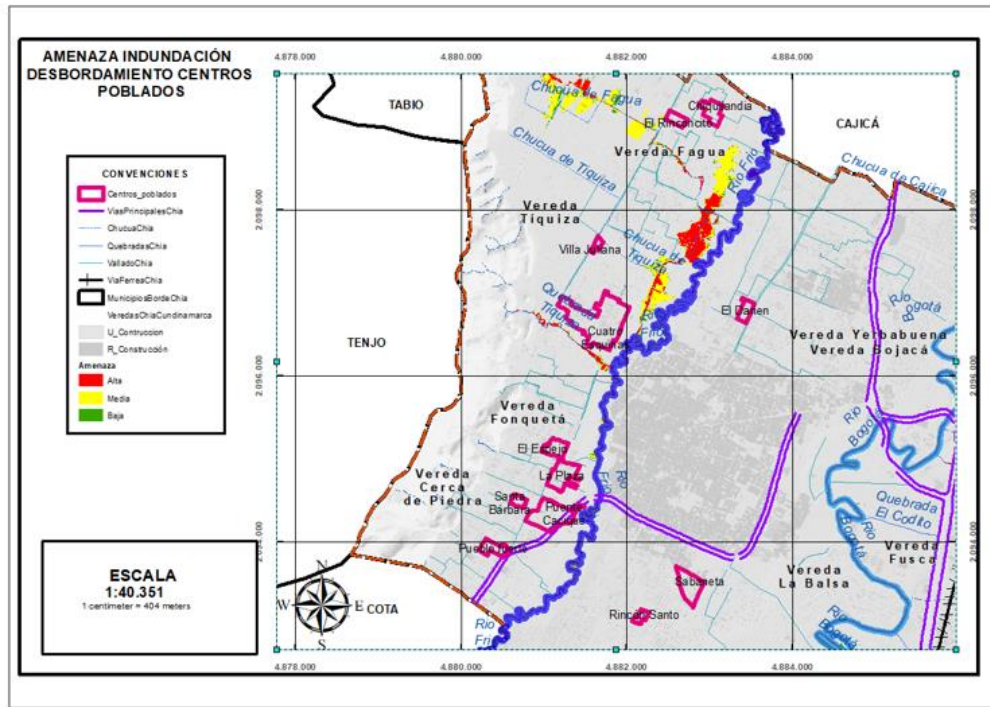
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

10. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN CENTROS POBLADOS

10.1 Amenaza inundación centros poblados desbordamiento

Los centros poblados fueron analizados a escala 1:2.000 para este estudio, la Figura 104 representa la ubicación de los centros poblados y los cuerpos lóticos analizados por desbordamiento en todo el estudio. Los centros poblados no se ven afectados por el desbordamiento de estas corrientes hídricas.

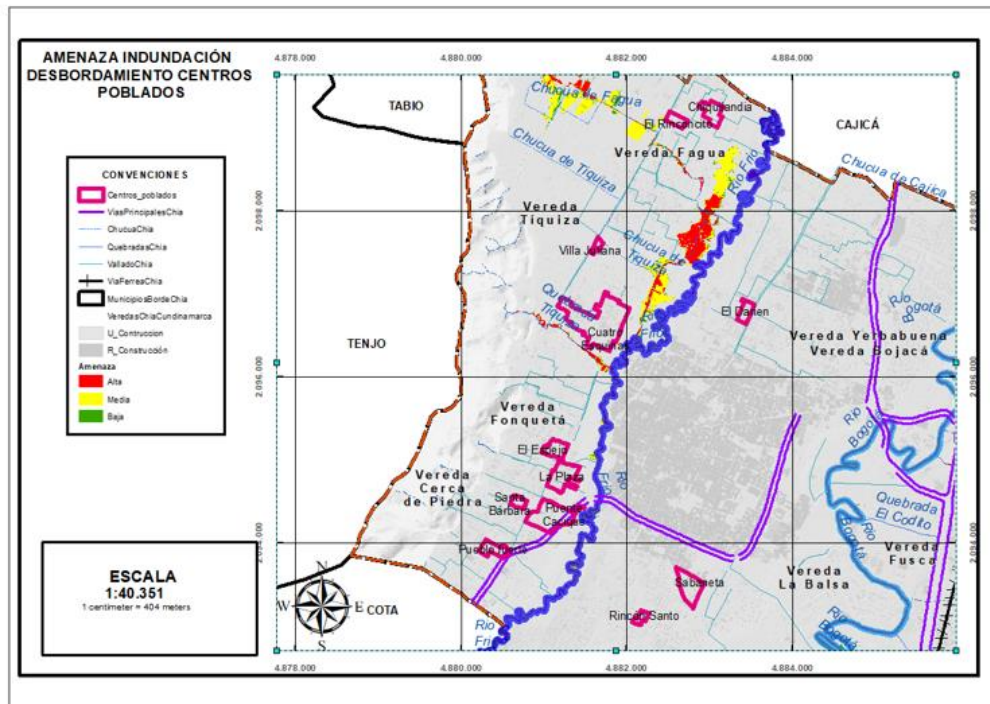
Figura 103. Amenaza inundación desbordamiento Centros Poblados



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

10.2 Amenaza inundación centros poblados encharcamiento

Figura 104. Amenaza inundación encharcamiento Centros Poblados



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Tabla 56. Áreas en amenaza por inundación encharcamiento CP

Amenaza inundación encharcamiento CP		
	Hectáreas	Porcentaje %
Alta	0.00	0.00
Media	85.47	99.96
Baja	0.037	0.04

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

11. CONCLUSIONES

11.1 Chuca de Fagua

En las modelaciones hidráulicas se identificaron áreas con amenaza por desbordamiento para periodos de retorno desde 2 años en la cuenca alta de la Chucua de Fagua, esto dada la insuficiencia del afluente para transportar los caudales en eventos extremos con probabilidad de ocurrencia desde 2 años en adelante.

Es de resaltar que en este estudio se asumió que los caudales en la parte alta de la Chucua de Fagua se distribuyen en un solo afluente en función del eje entregado por el municipio, sin embargo, se recomienda realizar un estudio más detallado para el complejo de vallados en la cuenca alta de la Chucua de Fagua, ya que la geometría y pendientes de estos vallados pueden afectar el comportamiento hidráulico y las manchas de inundación por desbordamiento.

En la cuenca media de la Chucua de Fagua se encontraron reducciones y cambios abruptos del cauce lo que genera represamientos, se recomienda revisar las intervenciones realizadas a la cuenca media del cauce de la Chucua.

En la zona de descarga de la Chucua de Fagua al río Frío se encontraron zonas de amenaza por desbordamiento en periodos de retorno desde 2 años por la presencia de estructuras tales como Box Culvert que generan represamientos.

Se recomienda en general hacer un mantenimiento del afluente que contemple limpieza de las estructuras box culvert, una adecuación de la cuenca alta de la Chucua para ampliar la sección, y revisar las intervenciones en la cuenca media.

11.2 Quebrada Tíquiza

En las modelaciones hidráulicas de la quebrada Tíquiza se encontraron problemas de continuidad por estructuras tales como tuberías o box culvert en la parte alta y media que generan represamientos, se recomienda mantenimiento a las estructuras tales como box culvert y en la entrega de la quebrada Tíquiza a río Frío realizar una adecuación que permita la recuperación de la sección de la quebrada para disminuir el área de amenaza por desbordamiento.

11.3 Río Frío

En las modelaciones hidráulicas en el recorrido del Río Frío a lo largo del municipio de Chía se encontraron áreas de amenaza por inundación para periodos de retorno de 2 años en adelante en meandros a lo largo de su recorrido hasta la entrega del río Bogotá. Además, en la modelación hidráulica de río Frío en conjunto con el río Bogotá no se encontraron evidencia de remanso del río Bogotá a Río Frío en periodos de retorno de hasta 100 años, gracias a la adecuación hidráulica realizada al río Bogotá por la CAR.

11.4 Quebradas El Chircal y Sindamanoy

En las modelaciones hidráulicas de la quebradas El Chircal y Sindamanoy no se encontraron áreas de amenaza por inundación en su recorrido dado que el área de influencia de la quebradas en mención se caracteriza por bajas precipitaciones, sin embargo, se recomienda realizar un análisis detallado de la parte baja de las quebradas en el cruce con la autopista norte ya que en esta zona pueden existir intervenciones en el cauce de la quebradas que a largo plazo pueden generar una zona de amenaza por inundación.

11.5 Quebrada Honda

En las modelaciones hidráulicas de quebrada Honda se evidenciaron zonas de amenaza por inundación con periodos de retorno desde 2 años alrededor de reservorios de agua en la cuenca media de la quebrada y una zona de amenaza por inundación en periodos de retorno desde 25 años en el cruce de la autopista norte por cambios abruptos con giros de 90 grados del cauce de la quebrada y la presencia de múltiples Box Culvert.

11.6 Quebrada Santiamén

Como resultado de las modelaciones hidráulicas de la quebrada Santiamén se evidenció un área de amenaza por inundación en la cuenca media de la quebrada ya que se encontró una intervención por medio de un Box Culvert sobre el cauce a través de una cancha de fútbol de un colegio colindante. Se recomienda ampliar la capacidad del Box Culvert que atraviesa el colegio en mención.

11.7 Quebrada El Rincón

Como resultado de las modelaciones hidráulicas de la quebrada Rincón se encontraron zonas de amenaza por inundación en la parte baja de la quebrada al cruzar la autopista norte, donde se evidencia que la sección de la quebrada no soporta caudales con periodos de retorno desde 2 años en adelante. Se recomienda hacer una revisión de los jarillones en esta zona para mejorar la capacidad hidráulica de la quebrada y además realizar una modelación hidráulica bidimensional para simular de forma adecuada la expansión de la mancha de inundación en la cuenca baja de la quebrada Rincón.

12. NOTA LEGAL – MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

La responsabilidad total de la información presentada en el documento, así como la de sus insumos, anexos y cartografía asociada corresponde a los profesionales firmantes, quienes fueron responsables de su elaboración y en grado mayor para la empresa consultora Hydraulic and Environmental Design S.A.S., quien aprueba y refrenda con su firma la calidad y pertinencia de los análisis realizados.

Lo anterior de conformidad con lo previsto en el artículo 27 del Decreto 1807 de 2014, compilado en el artículo 2.2.2.1.3.4.1 del Decreto nacional 1077 de 2015, que señala *“Los estudios técnicos señalados en la presente sección deben ser elaborados y firmados por profesionales idóneos en las materias, quienes son responsables de los mismos sin perjuicio de la responsabilidad por la correcta ejecución de los diseños y obras de mitigación”* y con las obligaciones derivadas del contrato de consultoría No 663 de 2020 cuyo objeto es *“la prestación de servicios de consultoría para la elaboración de los estudios básicos de riesgos por fenómenos de movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el Municipio de Chía – Cundinamarca conforme a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015”*, específicamente lo descrito en la cláusula primera”

Se deja constancia que la revisión realizada por el municipio de Chía, mediante los supervisores del contrato corresponde a una verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos contractuales y a los establecidos en los decretos nacionales en materia de estudios básicos de gestión del riesgo, pero en ningún caso constituye una aprobación al estudio con ocasión de la aplicación metodológica, ni al empleo de las actividades científicas y profesionales a cargo de los profesionales de la consultoría, por cuanto, el contenido de los mismos es responsabilidad exclusiva del consultor, tal como se prevé en el artículo previamente referido y las obligaciones derivadas del contrato de consultoría No 663 de 2020.

JUAN SEBASTIÁN SALINAS UYABÁN
C.C. 1.014.271.752
TP No 25202-408162 CND
Formación académica: Ingeniero civil
Representante Legal Consultoría

JESÚS YESID HERNÁNDEZ EUGENIO
C.C. 88235784
TP No 15202-091715
Formación académica: Ingeniero civil
Cargo: Profesional en hidrología e hidráulica