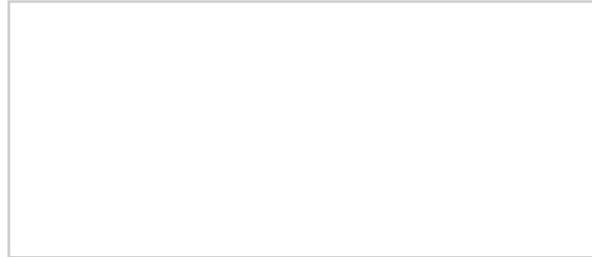


PROYECTO PLAN PARCIAL DELTA SILICAL Y CALICANTO



Informe Estudio Hidrológico

1774-URB-IN-HIDROLOGIA-V0

FCS Ingeniería



Implementado por:



Control de Revisión Documental

Versión No.	Revisión No.	Fecha	Descripción
0	0	14/02/2023	Versión Inicial Informe

Control de Aprobación Documental

Desarrollado por:		
 FCS Ingeniería	ELABORÓ:	FIRMA: NOMBRE: Juan Eliécer Guzmán Begambre CARGO: Ingeniero Civil
	APROBÓ:	FIRMA: NOMBRE: Johanna Vega Leguizamón CARGO: Gerente Técnica.
Revisión y Aprobación:		
	REVISOR: ARQUITECTURA	FIRMA: NOMBRE: CARGO:
	REVISOR: INGENIERÍA	FIRMA: NOMBRE: CARGO:
	REVISOR 3: SOSTENIBILIDAD	FIRMA: NOMBRE: CARGO:
	APROBADOR 1: DIR. ARQUITECTURA	FIRMA: NOMBRE: CARGO:
	APROBADOR 2: DIR. INGENIERÍA	FIRMA: NOMBRE: CARGO:

Contenido

1	Introducción	6
2	Descripción y localización del proyecto	6
3	Objetivo y Metodología	7
3.1	Objetivo	7
3.2	Metodología.....	7
4	Recopilación y análisis de información secundaria	7
4.1	POMCA río Bogotá.....	8
4.2	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP.....	10
4.3	Plan de Ordenamiento Territorial -POT- de la ciudad de Bogotá	10
4.4	Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA.....	11
5	Estudio hidrológico	12
5.1	Información disponible.....	12
5.2	Delimitación y caracterización de las cuencas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro .	13
5.3	Definición de la tormenta de diseño.....	15
5.4	Definición de los parámetros de cobertura vegetal y del suelo en la cuenca	20
5.5	Parámetros generales para la modelación hidrológica.....	22
5.6	Modelo hidrológico – estimación de caudales máximos.....	23
6	Conclusiones y Recomendaciones	26
7	Referencias	27
8	Anexos	27

Lista de tablas

Tabla 1.	Análisis Información POMCA río Bogotá.....	9
Tabla 2.	Estaciones meteorológicas próximas al área de estudio	10
Tabla 3.	Resultado análisis de frecuencias estaciones meteorológicas aferentes al proyecto	15
Tabla 4.	Valores de P _{MAX24} para el área de estudio asociada a diferentes periodos de retorno...	17
Tabla 5.	Números de Curva (CN) para grupos hidrológicos en cuencas en condición III e $I_a=0.2S$ (Áreas Urbanas)	21
Tabla 6.	Números de Curva (CN) para grupos hidrológicos en cuencas en condición III e $I_a=0.2S$ (Áreas No Urbanas).....	22
Tabla 7.	Parámetros para la modelación hidrológica para el área de drenaje	23
Tabla 8.	Caudales pico para tormentas con diferentes valores de T_r	25

Lista de figuras

Figura 1	Localización general del proyecto	6
Figura 2	Información disponible GDB Cartografía Base POMCA río Bogotá	8
Figura 3	Elementos de la EEP identificados en el visor de Mapas del POT de Bogotá D.C	11
Figura 4	Información disponible GDB IDECA	12
Figura 5	Localización Estaciones EAAB más próximas al área de estudio.....	13
Figura 6	Cuencas quebradas Serrezuela y El Encuentro hasta el sitio de estudio	14
Figura 7	Perfil longitudinales de los cauces principales de las quebradas analizadas.....	14
Figura 8	Resultado análisis de frecuencias y distribuciones de probabilidad para la estación Serrezuela 16	
Figura 9	Distribución de la Sabana	18
Figura 10	Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años y una duración de 3 horas	18
Figura 11	Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 3 horas	19
Figura 12	Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 3 horas	19
Figura 13	Número de curva CN de las cuencas en condición III e $I_a=0.2S$	20
Figura 14	Modelo topológico HEC-HMS – cuencas Serrezuela y El Encuentro	23
Figura 15	Hidrogramas de creciente en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (T_r 5 años)	24
Figura 16	Hidrogramas de creciente en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (T_r 10 años)	24
Figura 17	Hidrogramas de creciente en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (T_r 100 años)	25

1 Introducción

Construcciones Planificadas - Conplanificadas está realizando los estudios correspondientes para el Plan Parcial Delta, Silical y Calicanto, localizado al nororiente de la ciudad de Bogotá D.C., en el cual se pretende el desarrollo de diferentes manzanas para vivienda y otros usos y el urbanismo correspondiente. En el marco de la ejecución de este proyecto, se encuentra necesario realizar el estudio hidrológico del área del Plan Parcial, con el fin de obtener caudales de aguas lluvias para los cuerpos de agua asociados y el urbanismo del proyecto. Para el desarrollo de este estudio, Conplanificadas ha contratado a la consultoría FCS Ingeniería.

El presente documento corresponde al informe de resultados del estudio hidrológico, en el cual se presenta la revisión de información secundaria, delimitación de áreas de drenaje y estimación de caudales asociados a diferentes probabilidades de ocurrencia. Dentro del área del Plan Parcial se encuentran dos cuerpos hídricos que son la quebrada Serrezuela y la quebrada El Encuentro, el estudio hidrológico se enfoca en estimar los caudales asociados y las áreas de drenaje de estos cuerpos de agua, que en el límite de la AK 7 son canalizados por infraestructura de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB-ESP.

2 Descripción y localización del proyecto

El proyecto PP Delta, Silical y Calicanto se localiza en la ciudad de Bogotá D.C., hacia el costado oriental de la AK 7 a la altura de la AC 170, en el cual discurren las aguas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro en el costado norte y sur del proyecto respectivamente. Este se observa en la Figura 1.



FUENTE: CONSTRUCCIONES PLANIFICADAS, 2022.

Figura 1

Localización general del proyecto

3 Objetivo y Metodología

3.1 Objetivo

Realizar el estudio hidrológico de las áreas del Plan Parcial Delta, Silical y Calicanto, con especial énfasis en las quebradas que se encuentran dentro del Plan Parcial, las quebradas Serrezuela y El Encuentro.

3.2 Metodología

En este documento se busca estimar los caudales asociados a las áreas aferentes del proyecto y en especial a las quebradas del Plan Parcial, para diferentes probabilidades de ocurrencia. Para esto, es necesario delimitar las áreas de drenaje (cuencas) de cada quebrada, realizar su caracterización y definir los parámetros que describirán la capacidad de infiltrar escorrentía. De manera paralela se estima la lluvia de diseño asociada a diferentes probabilidades de ocurrencia y duración de la tormenta. Con estos dos insumos se realizan los modelos hidrológicos correspondientes con los cuales se estimarán los caudales que pueden transitar en cada quebrada de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y duración de lluvia.

En el informe se presenta un análisis de información secundaria, de la cual se obtendrá información necesaria para realizar el estudio hidrológico. Una vez analizada la información existente se presentan los análisis propios del estudio hidrológico como son la delimitación y caracterización de las cuencas de las quebradas Serrezuela y el Encuentro, estimación de la lluvia o tormenta de diseño, la descripción del modelo hidrológico realizado y la estimación de caudales asociados a cada una de las cuencas.

4 Recopilación y análisis de información secundaria

En el marco del desarrollo de los estudios hidrológicos propios del PP Delta, Silical y Calicanto; se revisaron las siguientes fuentes de información secundaria:

- Información remitida por Conplanificadas.
- POMCA río Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB.
- Plan de Ordenamiento Territorial -POT- de la ciudad de Bogotá.
- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA.

Respecto a la información suministrada por Conplanificadas, esta es resumida en la Tabla 1 del Anexo 3.

4.1 POMCA río Bogotá

En el año 2019 la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, realizó el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá - POMCA río Bogotá 2019. Con este estudio la Corporación realiza el diagnóstico, zonificación y formulación de las cuencas hidrográficas del río Bogotá y la Vertiente oriental del río Magdalena, en jurisdicción de la CAR. El área del Plan Parcial se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, por lo que la consulta del POMCA es elemental para definir las características de las quebradas Serrezuela y El Encuentro.

Dada la escala de trabajo de este tipo de instrumentos de planificación del recurso hídrico (1:25.000), la revisión realizada se centró en la información cartográfica disponible en las geodatabases -GDB- Básica y Temática de dicho POMCA, principalmente asociada a las variables de interés para los estudios hidrológicos.

En este sentido, frente a la información aferente a la GDB Básica, para el presente estudio se obtuvo la información de la base cartográfica del IGAC a escala 1:25.000, correspondiente principalmente con los drenajes y curvas de nivel para esta escala. Para el área de estudio se encontraron curvas de nivel cada 25 m, así como los drenajes “sencillos” asociados. Cabe destacar que en esta fuente de información y tal vez debido a la escala de trabajo, la quebrada El Encuentro no aparece en esta base de datos, siendo que solo aparece la quebrada Serrezuela y un ramal afluente de esta, el cual está definido como un drenaje intermitente. Esto se observa en la Figura 2. La cartografía base está definida en la Plancha IGAC a escala 1:25.000 No 228-III-A.



FUENTE: PROPIA (CON BASE EN INFORMACIÓN DEL POMCA RÍO BOGOTÁ), 2023.

Figura 2

Información disponible GDB Cartografía Base POMCA río Bogotá

Respecto a la información aferente al PP Delta, Silical y Calicanto, dentro de la GDB Temática del POMCA del río Bogotá se encontraron archivos tipo shapefile con variables de interés para el estudio hidrológico, los cuales se sobreponen con el área del PP o bien, de la cuenca de las quebradas Serrezuela y El Encuentro. Estos archivos fueron identificados dentro de los Datasets “14 Suelos”, “15 Recurso Hídrico Superficial”, “19 Clima”, “20 Biótico”, “23 Gestión Riesgo”, “28 Síntesis Ambiental”, “30 Zonificación POMCA” y “31 Áreas de Ecosistemas Estratégicos”, su identificación y análisis se presentan en la Tabla 1. Análisis Información POMCA río Bogotá.

Tabla 1. Análisis Información POMCA río Bogotá

Dataset	Shapefile	Descripción para el área del PP
14 Suelos	Suelos	Shapefile que presenta el campo de clase hidrológica (aunque está nulo este campo), junto con la información que permite determinar las texturas del suelo, información requerida para el estudio hidrológico
15 Recurso Hídrico Superficial	Recurso Hídrico Superficial	Se identifica que el PP se encuentra dentro del Área Hidrográfica Magdalena – Cauca, Zona Hidrográfica Alto Magdalena, Subzona Hidrográfica Río Bogotá y particularmente en la Unidad Hidrográfica de Nivel I de Río Bogotá sector Tibitoc – Soacha y la Unidad Hidrográfica de Nivel II Innominada de código 21200704.
19 Clima	Zonificación Climática de Caldas – Lang	Se observa que el área de estudio presenta un clima Frío Semihúmedo (Fsh)
20 Biótico	Coberturas de la Tierra	Shapefile elaborado según la metodología Corine Landcover y usado en los análisis hidrológicos para caracterización de coberturas de las cuencas.
23 Gestión de Riesgo	Amenaza por movimientos en masa	Dentro del PP se identifican áreas en amenaza baja y media por movimientos en masa.
	Avenidas torrenciales	En el PP se identifican sectores en amenaza baja y media por avenidas torrenciales
	Incendios de la cobertura vegetal	Para el PP se encuentran algunas áreas en amenaza alta por incendios de la cobertura vegetal.
28 Síntesis Ambiental	Conflictos por Pérdida de Coberturas Naturales	La mayor parte del área del PP se identifica como “Muy transformada de Sostenibilidad baja”, indicando que las coberturas vegetales no se conservan.
	Áreas Críticas	Una parte del área del PP se cruza con un área crítica cuyo conflicto es por Sobreutilización moderada
30 Zonificación POMCA	Zonificación Ambiental del POMCA	Se identifica que el área del PP está en su mayoría categorizada como Áreas Urbanas, seguida de una zona en “Área de Protección”
31 Áreas de Ecosistemas Estratégicos	Zonas de protección – Recarga	Se identifican áreas del PP como zonas de recarga de acuíferos.
	Otras áreas	Se delimita la zona de ronda de la quebrada Serrezuela, definida según la Resolución SDA 412 del 31 de enero 2008.
	SINAP – Reserva Forestal Protectora	Esta área no intersecta con el área del PP, pero sí con la cuenca de la quebrada Serrezuela, identificando el Bosque Oriental de Bogotá – Cerros Orientales de Bogotá, establecido mediante el Acuerdo INDERENA 30 de 1976 – Resolución Minagricultura 76 de 1977 – Resolución MADS 1766 de 2016 y Resolución MADS 463 de 2005

FUENTE: PROPIA, 2023.

4.2 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP.

La EAAB-ESP cuenta con la parametrización de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia IDF para diferentes puntos a lo largo de la ciudad de Bogotá y áreas aledañas. Estas curvas permiten definir las intensidades requeridas para los análisis de lluvias extremas en el área de estudio. Así mismo, la EAAB-ESP opera diferentes estaciones meteorológicas, de las cuales se pueden obtener el registro de precipitaciones máximas en 24 horas. Con el registro de precipitaciones se realiza el análisis y estimación de las lluvias de diseño para cada una de las quebradas.

Para las curvas IDF se identificaron cuatro puntos que representan distintos parámetros para la elaboración de las curvas, estos puntos son el 50232, 50238, 51126 y el 51132. De igual forma, se identificaron las estaciones meteorológicas operadas por la EAAB-ESP más próximas al área de estudio, resultando que la estación más cercana (20202 -P-078 Serrezuela) se ubica aproximadamente a 2 km al norte del PP. De estas estaciones se solicitó el registro histórico de información disponible para la variable precipitación máxima en 24 h, información que se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas próximas al área de estudio

Estación	Municipio	Entidad	Subcuenca	Periodo de información disponible (P _{MAX24})		
				Inicio	Fin	Tiempo (años)
20011 (P-005) San Rafael	La Calera	EAAB	Río Teusacá	mayo de 1933	octubre de 2022	90
20031 (P-001) Cerro de Suba	Bogotá	EAAB	Río Juan Amarillo	abril de 1946	septiembre de 2022	77
20202 (P-078) Serrezuela	Bogotá	EAAB	Quebrada Aguas Claras	enero de 1990	agosto de 2022	33
20208 (P-095) La Conejera	Bogotá	EAAB	Humedal La Conejera	mayo de 1990	septiembre de 2022	33

FUENTE: PROPIA (CON BASE EN INFORMACIÓN DE LA EAAB), 2023.

Del portal web “datosabiertos.bogota.gov.co” se obtuvo la capa de drenajes (corrientes de agua) en su versión de diciembre de 2022, esta perteneciente a la EAAB. En este archivo shapefile se encuentran delimitadas las quebradas Serrezuela y El Encuentro.

4.3 Plan de Ordenamiento Territorial -POT- de la ciudad de Bogotá

Respecto a la revisión de información secundaria establecida en el POT vigente de la ciudad de Bogotá, se observa que fue analizada dentro de la información secundaria remitida por Conplanificadas (ver Anexo 3). En todo caso, asociado a las EEP, en la Figura 3 se muestra una captura de pantalla del mapa de la Estructura Ecológica Principal aferente al área de estudio del PP (disponible en el Visor de Mapas POT “Bogotá Reverdece” 2022-2035).



FUENTE: ADAPTADO DEL VISOR DE MAPAS POT "BOGOTÁ REVERDECE" 2022-2035 (CONSULTADO EN ENERO DE 2023).
Figura 3 Elementos de la EEP identificados en el visor de Mapas del POT de Bogotá D.C

De la revisión es posible ver que en el POT se establece la zona de ronda para la quebrada El Encuentro, así como la zona de ronda de la quebrada Serrezuela.

4.4 Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA

A partir de la información cartográfica disponible en la GDB de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA (versión de septiembre de 2022) se identificaron los shapets de Microcuencas, Curvas de Nivel y Corrientes de Agua. De esta información, se estableció que la mayor parte del PP se encuentra en la microcuenca de la quebrada Serrezuela (código 21201906), mientras que una pequeña parte del norte del PP se ubica en la microcuenca del canal San Antonio (código 21201907), ambas localizadas en la subcuenca del río Torca. Asimismo, en la Figura 4 se presentan las curvas de nivel y los drenajes que se utilizarán como base cartográfica para la delimitación de las cuencas hidrográficas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro, estas obtenidas de la GDB mencionada anteriormente.



FUENTE: PROPIA (CON BASE EN INFORMACIÓN DEL IDECA), 2023.

Figura 4 Información disponible GDB IDECA

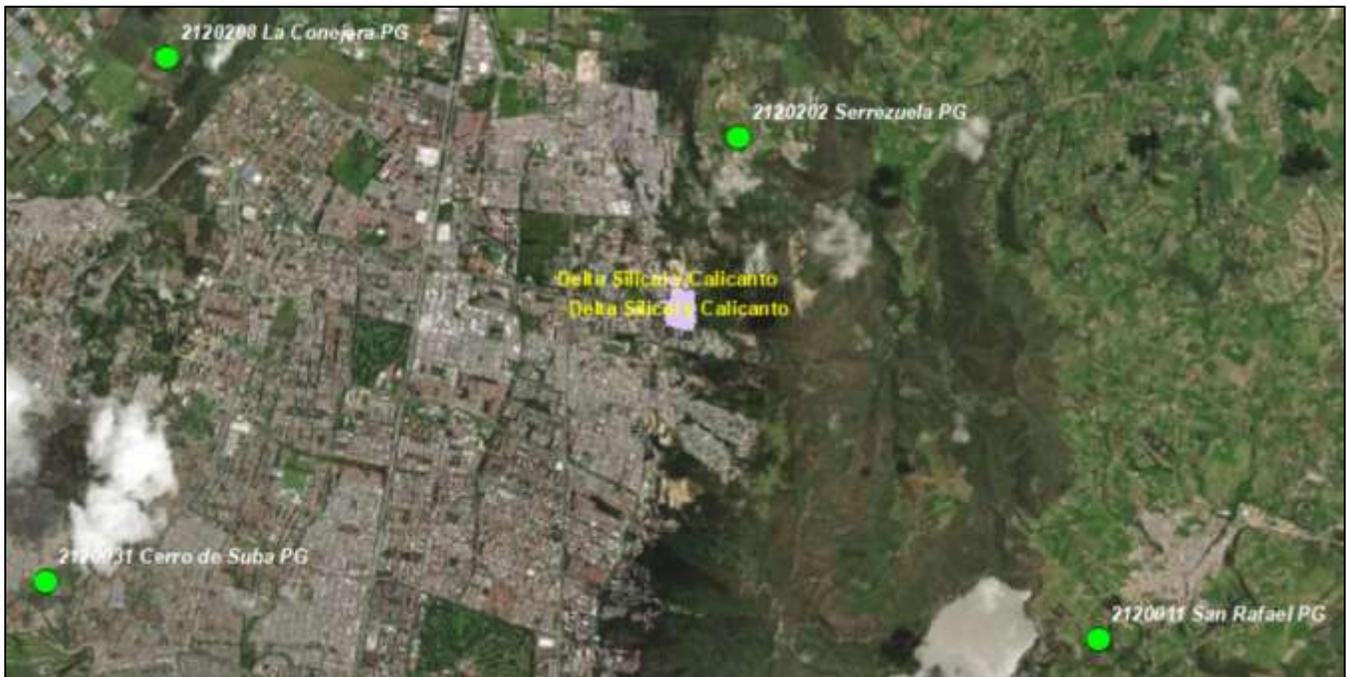
5 Estudio hidrológico

El estudio hidrológico inherente al presente proyecto tiene por objeto realizar la estimación de los caudales que transitan por las quebradas Serrezuela y El Encuentro, justo en el sitio donde se localiza el Plan Parcial, particularmente aquellos caudales asociados a algún evento extremo bajo una probabilidad de ocurrencia definida en términos de periodos de retorno (Tr). Esta estimación de caudales se debe hacer en función de la información disponible, partiendo que, a grandes rasgos, existen tres tipos fundamentales de metodologías para la determinación de estos, clasificadas como empíricas, estadísticas e hidrometeorológicas. Para las áreas de interés se hace uso del modelo hidrometeorológico de lluvia – escorrentía del Soil Conservation Service, dada su aceptabilidad para este tipo de estudios y las condiciones de información disponible descritas a continuación.

5.1 Información disponible

Para el desarrollo del estudio hidrológico se realizó una exhaustiva consulta de diferentes fuentes que contaran con información pertinente, tanto para desarrollar el modelo, como para dar validez al mismo, el análisis y descripción de la información consultada se presenta en el Capítulo 4.

En la búsqueda de información en la EAAB-ESP, se identificaron las estaciones hidrometeorológicas más próximas al área de estudio, las cuales se describen en la Tabla 2 y se muestran más adelante en la Figura 5.



FUENTE: PROPIA (CON BASE EN INFORMACIÓN DE LA EAAB), 2023.

Figura 5

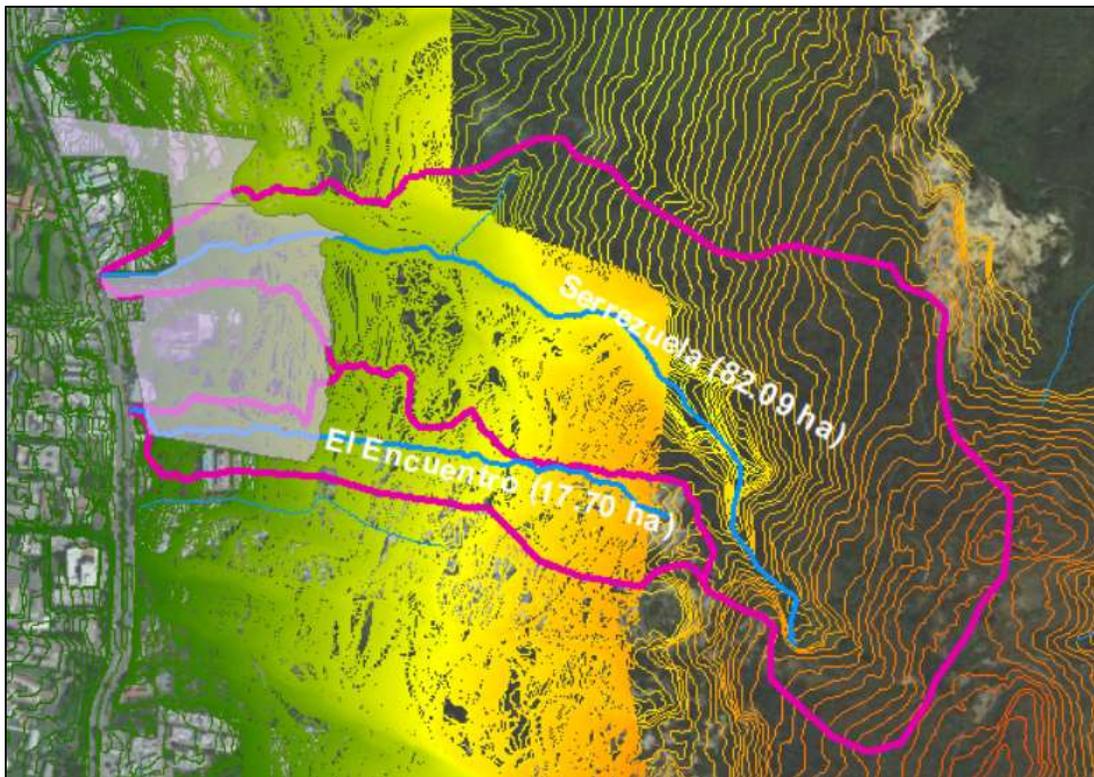
Localización Estaciones EAAB más próximas al área de estudio

Así mismo, se revisó el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas -POMCA- del Río de Bogotá (2019), del cual (disponible en la página de la CAR) se obtuvo información cartográfica de las coberturas de la tierra (realizada bajo la metodología Corine Land Cover) y de las características del suelo a escala 1:25.000. La información cartográfica complementaria utilizada fue obtenida de las bases de datos del IDECA.

5.2 Delimitación y caracterización de las cuencas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro

La delimitación y caracterización de las cuencas de drenaje asociadas al proyecto se realizó a partir del análisis de la cartografía de la zona, de la cual se identificaron las líneas divisorias de aguas y los diferentes elementos de drenaje; esto con base en la información cartográfica obtenida de las bases de datos del IGAC y del IDECA.

En la Figura 6 se presenta el resultado de la delimitación de las cuencas de drenaje de las quebradas Serrezuela y El Encuentro.



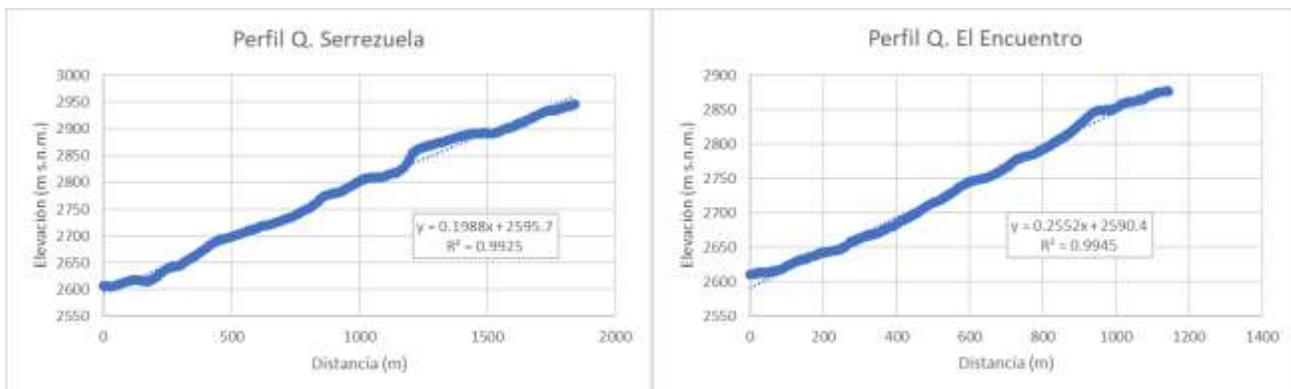
FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 6

Cuencas quebradas Serrezuela y El Encuentro hasta el sitio de estudio

De la anterior delimitación, se establece que las cuencas de las quebradas Serrezuela y el Encuentro tienen un área en planta de 82.1 y 17.7 ha, respectivamente.

Definidos los cauces principales de cada una de estas cuencas se procede a determinar la pendiente de los mismos. Para ello, con base en la información cartográfica disponible se trazaron los perfiles de las quebradas, las cuales se muestran a continuación:



FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 7

Perfil longitudinales de los cauces principales de las quebradas analizadas

A lo largo de los perfiles no se evidencian cambios de pendiente significativos, por lo que para estimar el valor de pendiente de ambos cauces se puede efectuar una regresión lineal, obteniendo pendientes de 19.88% y 25.52% para los cauces de las quebradas Serrezuela y El Encuentro, respectivamente. Nótese que los coeficientes de determinación resultantes de las regresiones realizadas indican un ajuste adecuado, validando las pendientes obtenidas para cada drenaje.

5.3 Definición de la tormenta de diseño

La estimación de la tormenta de diseño se realizó a partir de los análisis a los datos de la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones hidrometeorológicas más próximas al proyecto (ver Figura 5 y Tabla 2). Para cada una de estas, se procede a realizar el correspondiente análisis de frecuencias y con base en la prueba estadística Chi – Cuadrado, se establecen las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan a la naturaleza de los datos observados, y a partir de estas se determinan los valores de precipitación máxima en 24 horas (Pmax24) asociados a distintos periodos de retorno. Los resultados obtenidos del análisis de frecuencia se presentan en la Tabla 3, y en la Figura 8 se muestra a manera de ejemplo la gráfica de distribuciones de probabilidad para los datos de PMAX24 de la estación Serrezuela.

Tabla 3. Resultado análisis de frecuencias estaciones meteorológicas aferentes al proyecto

Resultados Cerro de Suba		Resultados La Conejera	
Distribución	LOG-PEAR	Distribución	GUMBEL
Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)	Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)
2.33	41.5	2.33	43.2
5	49.0	5	52.9
10	54.5	10	60.8
15	57.4	15	65.2
25	60.9	25	70.8
50	65.2	50	78.2
100	69.4	100	85.5
3	44.2	3	46.6

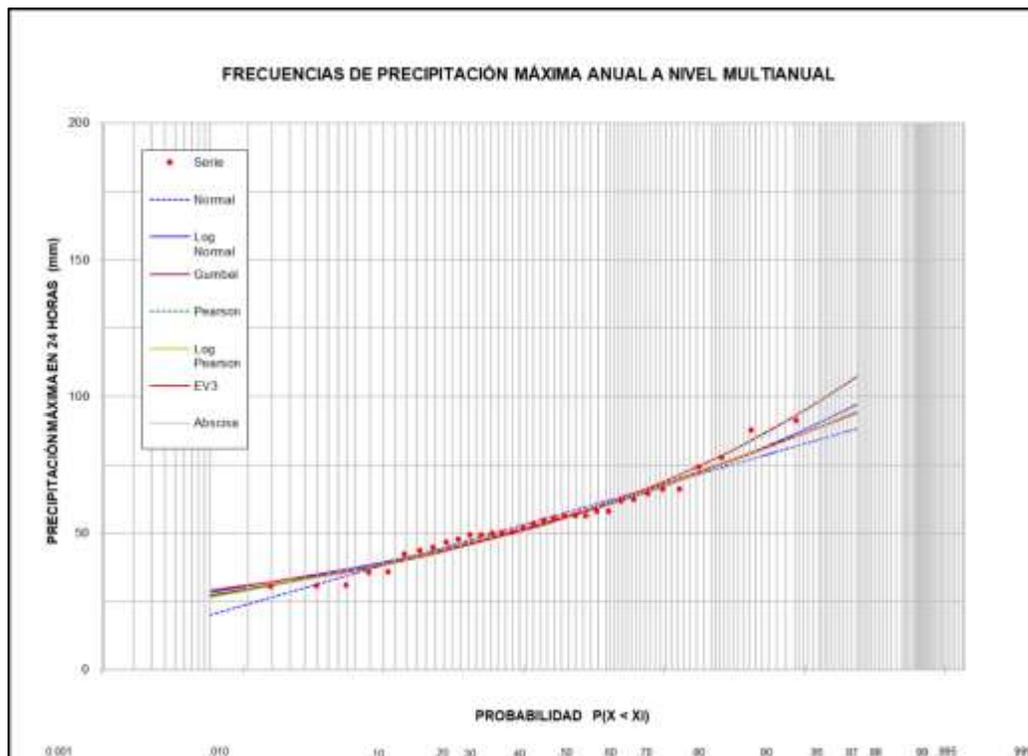
Resultados San Rafael		Resultados Serrezuela	
Distribución	LOG-PEAR	Distribución	GUMBEL
Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)	Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)
2.33	46.0	2.33	54.8
5	56.5	5	66.8
10	65.0	10	76.6
15	69.9	15	82.2
25	76.0	25	89.0

Resultados Cerro de Suba		Resultados La Conejera	
Distribución	LOG-PEAR	Distribución	GUMBEL
Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)	Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)
50	84.4	50	98.2
100	92.9	100	107.3
3	49.7	3	59.0

FUENTE: PROPIA, 2023.

Para determinar los valores de Pmax24 directamente en el área del proyecto, se hace uso de la metodología de interpolación del inverso de la distancia al cuadrado (IDW, por sus siglas en inglés), para la cual se emplea la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\sum P_i / d_i^2}{\sum 1 / d_i^2}$$



FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 8 Resultado análisis de frecuencias y distribuciones de probabilidad para la estación Serrezuela

Donde P_i es la precipitación máxima en 24 horas para la estación i y d_i es la distancia desde la estación i hasta el sitio donde se requiere conocer el valor de la precipitación máxima en 24 h, en este caso, el centroide de área de las cuencas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro.

Como resultado de este ejercicio, se obtienen los valores máximos de precipitación para los diferentes periodos de retorno para el área de estudio, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

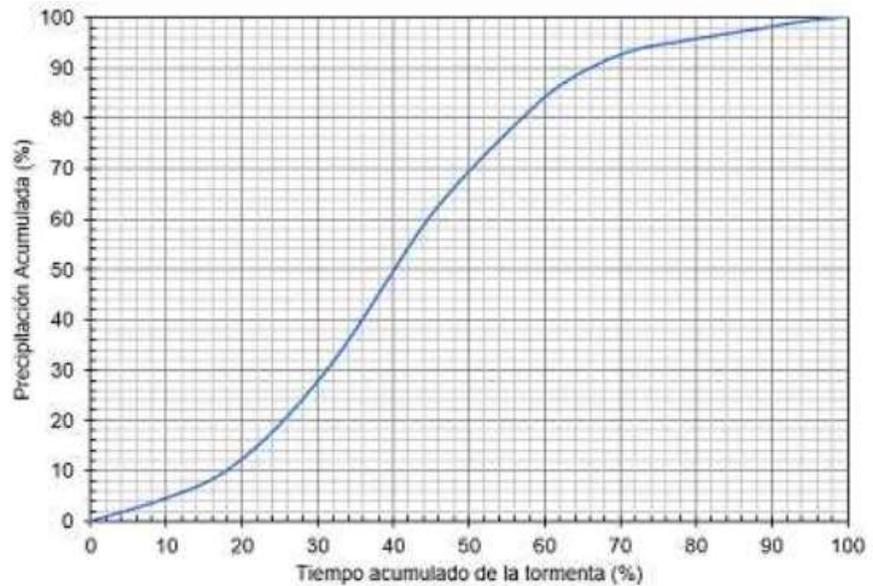
Tabla 4. Valores de P_{MAX24} para el área de estudio asociada a diferentes periodos de retorno

Tr (Años)	Precipitación Máxima, PT (mm)
2.33	52.3
5	63.8
10	73.2
15	78.4
25	84.9
50	93.7
100	102.4
3	56.4

FUENTE: PROPIA, 2023.

Una vez establecidos los valores de P_{MAX24} para la zona de estudio, se procede a convertir estos datos en una tormenta de diseño. Para esto, se emplea la metodología de la Distribución de la Sabana (ver Figura 9) con la cual se establece la forma de distribución de la tormenta, reflejada en el hietograma de diseño. Paralelamente, con base en lo establecido en la norma NS-085 (consultada en enero de 2023) se establece una duración de la tormenta de 3 horas. Así pues, en la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se muestran los valores resultantes de los hietogramas de diseño para periodos de retorno de 5, 10 y 100 años, respectivamente, con los cuales se realizan las modelaciones hidrológicas correspondientes.

Tiempo Acumulado		Precipitación
(minutos)	(%)	Acumulada (%)
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: EAAB – NS-085, 2020.

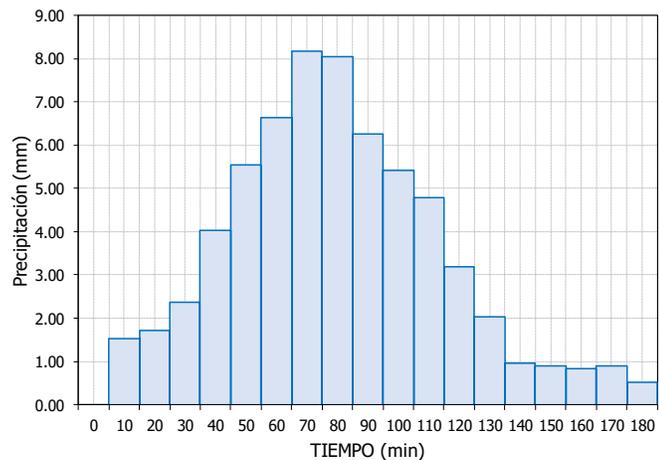
Figura 9 Distribución de la Sabana

Tr=5 AÑOS - DURACIÓN 3 HORAS

Tr (años)	5
Volumen (mm)	63.82

Tiempo (min)	Tiempo acum (%)	Precipitación acum (%)	Vol acum (mm)	Precipitación (mm)
0	0.0	0.0	0.00	0.00
10	5.6	2.4	1.53	1.53
20	11.1	5.1	3.25	1.72
30	16.7	8.8	5.62	2.36
40	22.2	15.1	9.64	4.02
50	27.8	23.8	15.19	5.55
60	33.3	34.2	21.83	6.64
70	38.9	47.0	29.99	8.17
80	44.4	59.6	38.04	8.04
90	50.0	69.4	44.29	6.25
100	55.6	77.9	49.71	5.42
110	61.1	85.4	54.50	4.79
120	66.7	90.4	57.69	3.19
130	72.2	93.6	59.73	2.04
140	77.8	95.1	60.69	0.96
150	83.3	96.5	61.58	0.89
160	88.9	97.8	62.41	0.83
170	94.4	99.2	63.31	0.89
180	100.0	100.0	63.82	0.51

Hietograma Tr=5 años - Distribución Sabana 3h



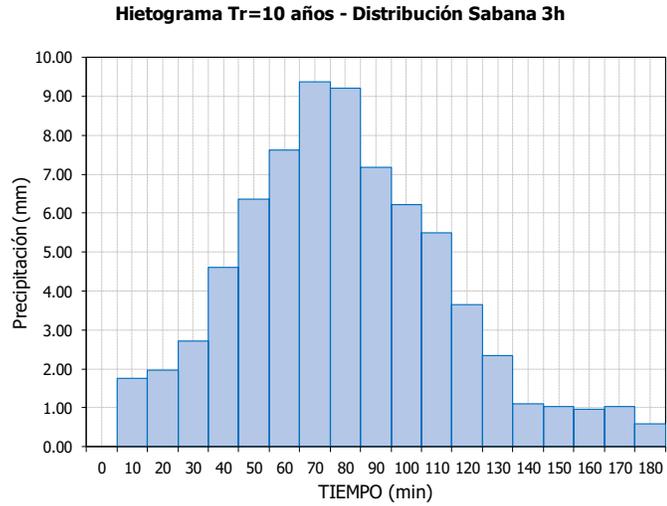
FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 10 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años y una duración de 3 horas

Tr=10 AÑOS - DURACIÓN 3 HORAS

Tr (años)	10
Volumen (mm)	73.15

Tiempo (min)	Tiempo acum (%)	Precipitación acum (%)	Vol acum (mm)	Precipitación (mm)
0	0.0	0.0	0.00	0.00
10	5.6	2.4	1.76	1.76
20	11.1	5.1	3.73	1.98
30	16.7	8.8	6.44	2.71
40	22.2	15.1	11.05	4.61
50	27.8	23.8	17.41	6.36
60	33.3	34.2	25.02	7.61
70	38.9	47.0	34.38	9.36
80	44.4	59.6	43.60	9.22
90	50.0	69.4	50.77	7.17
100	55.6	77.9	56.99	6.22
110	61.1	85.4	62.47	5.49
120	66.7	90.4	66.13	3.66
130	72.2	93.6	68.47	2.34
140	77.8	95.1	69.57	1.10
150	83.3	96.5	70.59	1.02
160	88.9	97.8	71.54	0.95
170	94.4	99.2	72.57	1.02
180	100.0	100.0	73.15	0.59



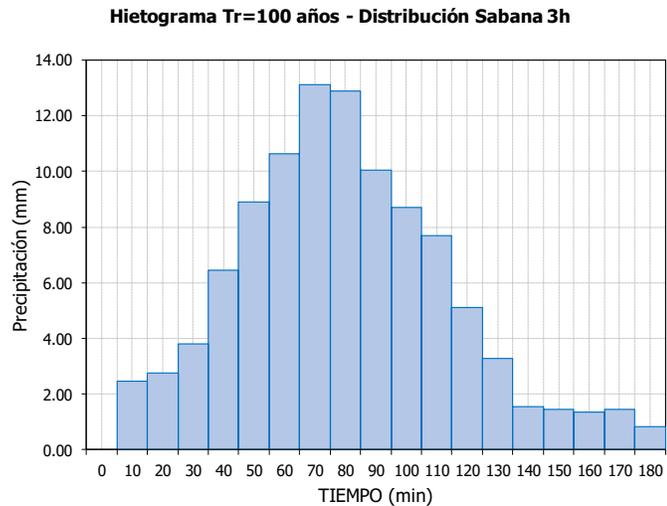
FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 11 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 3 horas

Tr=100 AÑOS - DURACIÓN 3 HORAS

Tr (años)	100
Volumen (mm)	102.38

Tiempo (min)	Tiempo acum (%)	Precipitación acum (%)	Vol acum (mm)	Precipitación (mm)
0	0.0	0.0	0.00	0.00
10	5.6	2.4	2.46	2.46
20	11.1	5.1	5.22	2.76
30	16.7	8.8	9.01	3.79
40	22.2	15.1	15.46	6.45
50	27.8	23.8	24.37	8.91
60	33.3	34.2	35.01	10.65
70	38.9	47.0	48.12	13.10
80	44.4	59.6	61.02	12.90
90	50.0	69.4	71.05	10.03
100	55.6	77.9	79.75	8.70
110	61.1	85.4	87.43	7.68
120	66.7	90.4	92.55	5.12
130	72.2	93.6	95.83	3.28
140	77.8	95.1	97.36	1.54
150	83.3	96.5	98.79	1.43
160	88.9	97.8	100.13	1.33
170	94.4	99.2	101.56	1.43
180	100.0	100.0	102.38	0.82



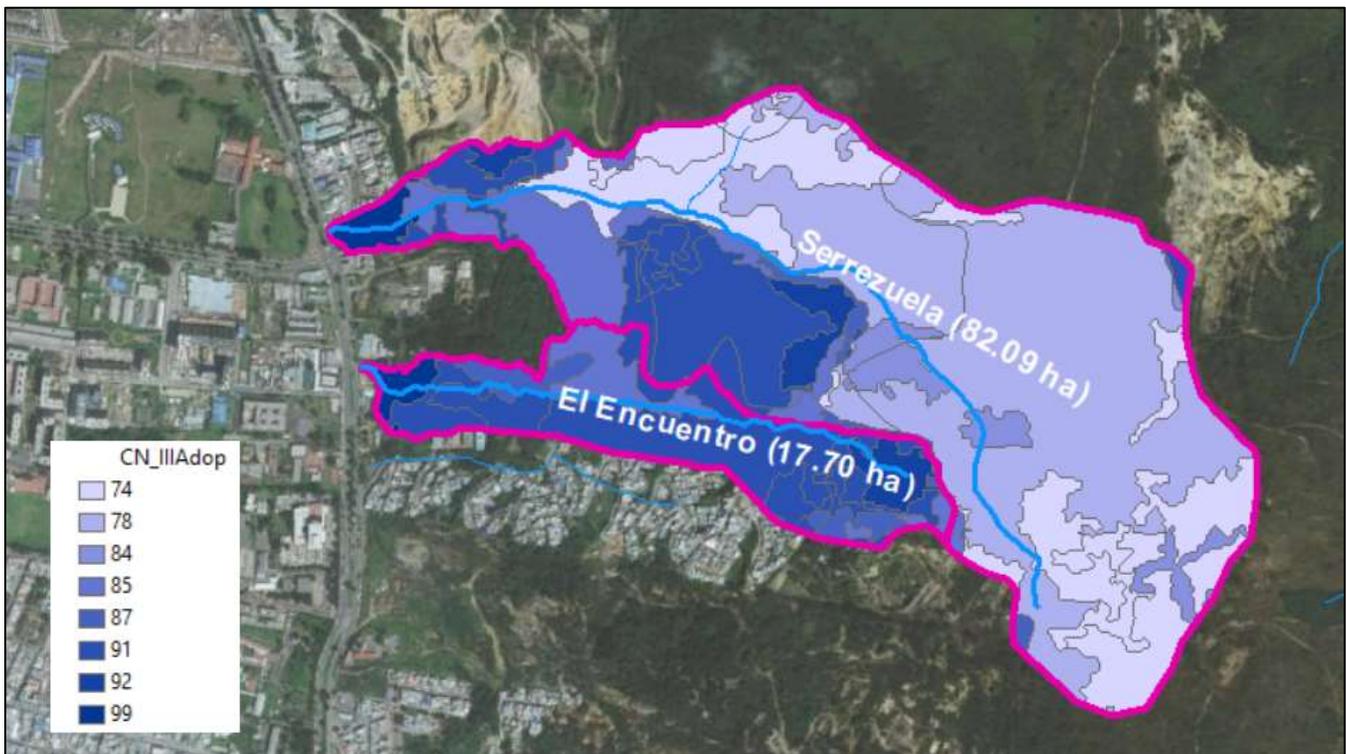
FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 12 Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 3 horas

5.4 Definición de los parámetros de cobertura vegetal y del suelo en la cuenca

Con base en la interpretación de la información secundaria obtenida, particularmente la referente a los tipos de suelo y de cobertura vegetal presentes en el área de la cuenca, se procede a estimar el parámetro de número de curva CN, propio de la metodología para el cálculo de abstracciones del SCS. Es importante destacar que los resultados obtenidos para este modelo lluvia – escorrentía son sumamente sensibles a este parámetro, por lo que su definición debe realizarse con el mayor rigor posible, aun cuando se presenten niveles de incertidumbre elevados.

Realizando el análisis de mapas correspondiente, se cruzan los parámetros de tipología de suelo con los de cobertura vegetal, determinando diferentes regiones, cada una con un número de curva (ver Figura 13); con los valores de área de cada una de estas regiones, se procede a ponderar un valor de CN para cada cuenca. Es importante mencionar que para la definición del parámetro CN se utilizaron las tablas presentadas en la NS-085 (ver Tabla 5 y Tabla 6). Así pues, los valores ponderados fueron de 90 y 80 (números adimensionales), para las cuencas de las quebradas Serrezuela y El Encuentro, respectivamente.



FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 13

Número de curva CN de las cuencas en condición III e $la=0.2S$

Tabla 5. Números de Curva (CN) para grupos hidrológicos en cuencas en condición III e $Ia=0.2S$ (Áreas Urbanas)

Uso del suelo y cobertura	Tratamiento del suelo	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Residencial ⁽¹⁾						
Tamaño promedio del lote		% promedio de impermeabilidad ⁽²⁾				
0,05 ha o menor		65	89	94	96	97
0,10 ha		38	61	75	93	95
0,13 ha		30	75	72	92	94
0,20 ha		25	73	70	91	94
0,40 ha		20	70	68	91	93
Parqueaderos pavimentados, techos, garajes, etc.			99	99	99	99
Calles y carreteras:						
Pavimentadas con sardineles y drenajes de aguas lluvias ⁽³⁾			99	99	99	99
Zanjas o diques pavimentados			93	96	97	98
Zona cubierta de grava			89	94	96	97
Zona cubierta de arenas o polvo (En tierra sin afirmar)			86	92	95	96
Zonas comerciales y de negocios		85% de impermeabilidad	96	97	98	98
Zonas industriales		72% de impermeabilidad	92	95	97	98
Espacios abiertos, prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.						
Buenas condiciones: cobertura de pasto en más del 75% del área			59	78	88	91
Cobertura parcial: cobertura de pasto entre el 50% y 75% del área			69	84	91	93
Cobertura pobre (cobertura de pastos < 50%)			84	91	94	96

FUENTE: EAAB – NS-085, 2020.

Tabla 6. Números de Curva (CN) para grupos hidrológicos en cuencas en condición III e $la=0.2S$ (Áreas No Urbanas)

Uso del suelo y cobertura		Tratamiento del suelo	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo				
				A	B	C	D	
ÁREAS NO URBANAS	Barbecho	Hileras rectas	Mala	89	94	97	98	
	Cultivo en hileras	Hileras rectas	Mala	86	92	95	97	
		Hileras rectas	Buena	83	90	94	96	
		Líneas de nivel	Mala	85	81	93	95	
		Líneas de nivel	Buena	82	88	92	94	
		Terrazas a nivel	Mala	82	88	91	92	
		Terrazas a nivel	Buena	79	86	90	92	
	Cereales	Hileras rectas	Mala	82	89	93	95	
		Hileras rectas	Buena	80	88	93	95	
		Líneas de nivel	Mala	80	88	92	94	
		Líneas de nivel	Buena	78	87	92	93	
		Terrazas a nivel	Mala	78	86	91	92	
		Terrazas a nivel	Buena	77	85	90	92	
	Leguminosas o praderas con rotación***	Hileras rectas	Mala	82	89	94	96	
		Hileras rectas	Buena	76	86	92	94	
		Líneas de nivel	Mala	81	88	93	94	
		Líneas de nivel	Buena	74	84	90	93	
		Terrazas a nivel	Mala	80	87	91	93	
		Terrazas a nivel	Buena	70	83	89	91	
	ÁREAS NO URBANAS	Pastizales	-	Mala	84	91	94	96
			-	Regular	69	84	91	93
-			Buena	59	78	88	91	
Líneas de nivel			Mala	67	83	92	95	
Líneas de nivel			Regular	43	77	88	93	
Líneas de nivel			Buena	13	55	85	91	
Pradera permanente		--	-	50	76	86	90	
Bosques naturales		--	Mala	65	82	89	93	
		--	Regular	56	78	87	91	
		--	Buena	43	74	85	89	
Hacienda		--	--	77	88	92	94	
(1) Los números de curva son calculados asumiendo que la escorrenia desde la casa y el garaje es dirigida hacia la calle con un mínimo de agua del techo dirigida hacia el prado donde puede ocurrir infiltración. (2) La condición para estos números de curva es que las áreas permeables adicionales (prados) son consideradas sembradas con pastos de buena condición. (3) Sembradas en conjunto.								

FUENTE: EAAB – NS-085, 2020.

5.5 Parámetros generales para la modelación hidrológica

Posterior a la obtención de los números de curva ponderados, se procede a definir el tiempo de concentración y el tiempo de rezago, de acuerdo a las metodologías establecidas en la NS-085. Dicho esto, en la siguiente tabla se presentan los parámetros tenidos en cuenta para la modelación hidrológica del área de drenaje:

Tabla 7. Parámetros para la modelación hidrológica para el área de drenaje

Cuenca	Área			Pendiente - S m/m	Longitud		K -	Te min	Tt min	Tc min	Tlag min
	m ²	ha	km ²		m	km					
Serrezuela	820850.1	82.085	0.82085	0.1988	1841.3	1.841	1.0	11.8	0	11.8	7.11
El Encuentro	177018.7	17.702	0.17702	0.2552	1145.0	1.145	1.0	7.5	0	7.5	4.48

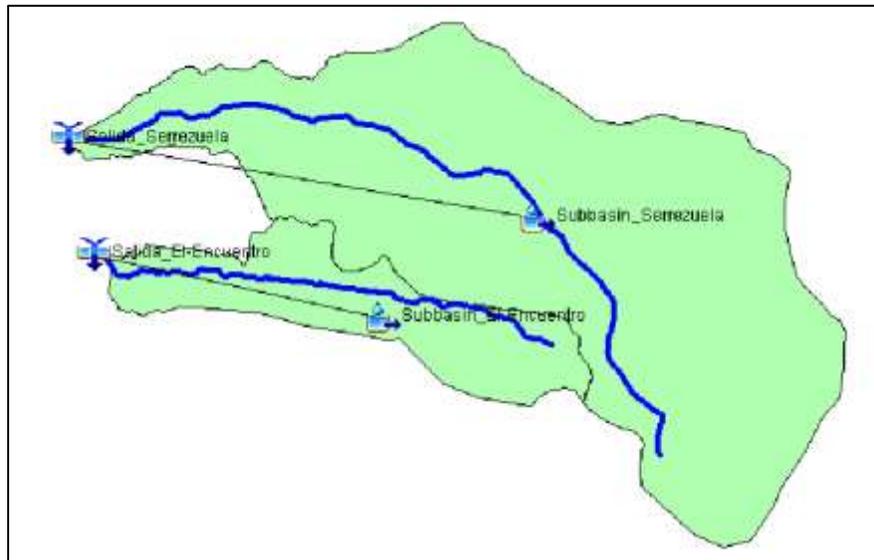
FUENTE: PROPIA, 2023.

5.6 Modelo hidrológico – estimación de caudales máximos

La estimación de los caudales máximos para el período de diseño se realizó a partir de la implementación del software hidrológico HEC-HMS, aplicando el modelo de lluvia-escorrentía del Soil Conservation Service.

El modelo SCS es un modelo lluvia – escorrentía que calcula el hidrograma producido por una cuenca, a partir de los datos físicos de la misma y la precipitación considerada, utilizando diferentes métodos para el cálculo de la infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía. Usando la información presentada en la Tabla 7 se construye el modelo de las cuencas aferente al proyecto.

A partir del análisis hidrológico presentado, se realiza la construcción del modelo de lluvia - escorrentía, dentro del cual se debe definir el área de la cuenca, el coeficiente de escorrentía (CN) y el tiempo de retardo. En la Figura 14 se presenta el modelo topológico construido en HEC - HMS.

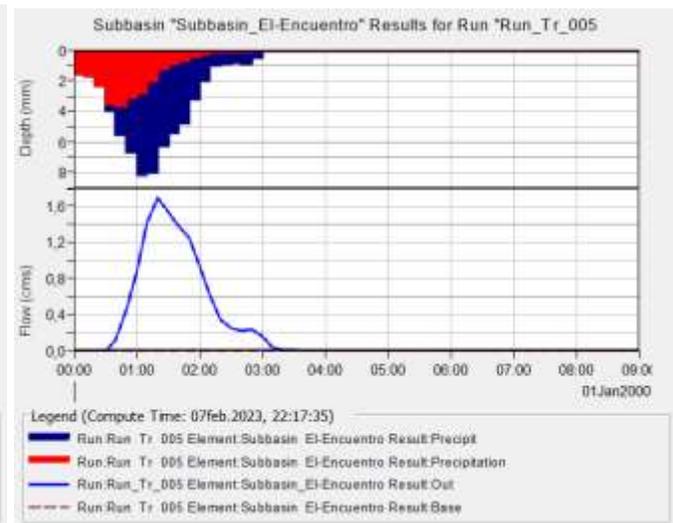
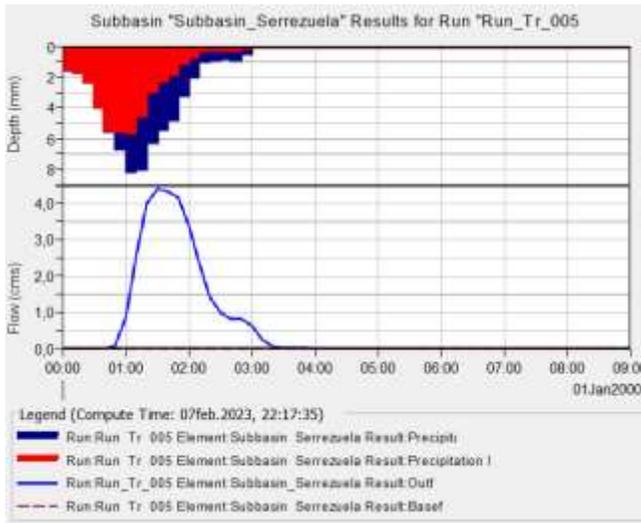


FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 14

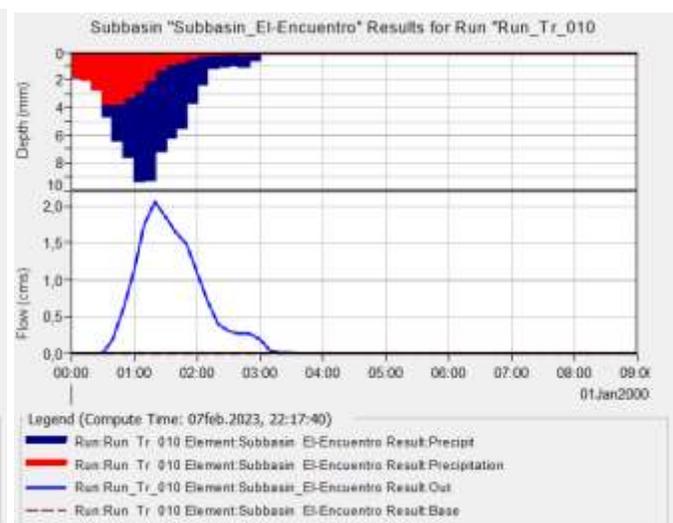
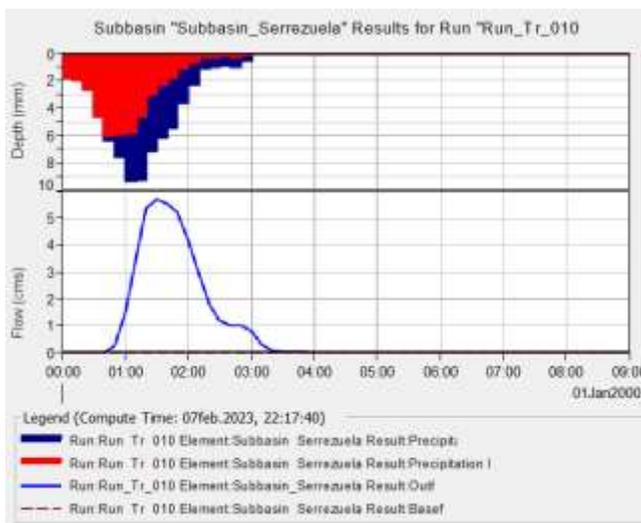
Modelo topológico HEC-HMS – cuencas Serrezuela y El Encuentro

Cabe resaltar que, las modelaciones se realizaron para los periodos de retorno mencionados en el capítulo 5.3. A continuación, se presentan los hidrogramas para cada uno de los eventos de lluvia definidos (ver Figura 15, Figura 16 y Figura 17), mientras que en la Tabla 8 se muestran los valores de caudal pico correspondientes.



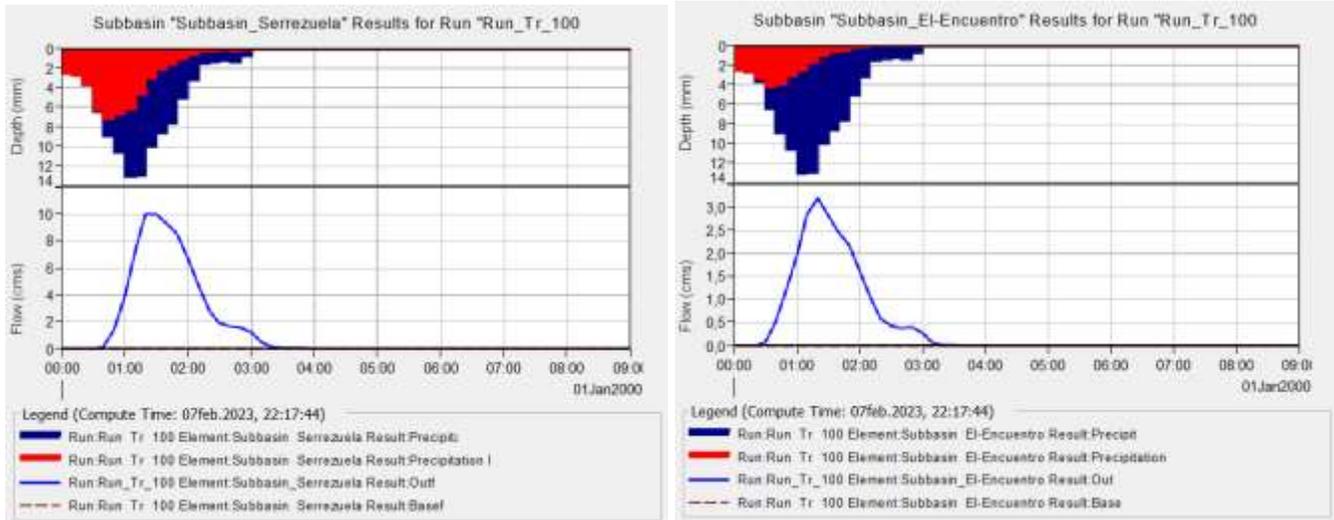
FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 15 Hidrogramas de creciente en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (Tr 5 años)



FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 16 Hidrogramas de creciente en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (Tr 10 años)



FUENTE: PROPIA, 2023.

Figura 17 Hidrogramas de creciete en las cuencas Serrezuela y El Encuentro (Tr 100 años)

Tabla 8. Caudales pico para tormentas con diferentes valores de Tr

Cuenca	Tr (años)	Caudal pico (m ³ /s)
Serrezuela	5	4.411
El Encuentro		1.699
Serrezuela	10	5.701
El Encuentro		2.059
Serrezuela	100	9.991
El Encuentro		3.196

FUENTE: PROPIA, 2023.

6 Conclusiones y Recomendaciones

- La quebrada El Encuentro no se puede visualizar en la base cartográfica del IGAC y el POMCA del río Bogotá, la cual se encuentra a escala 1:25,000. Esta quebrada se identifica en POT de Bogotá que maneja una escala adecuada, así como en la información del IDECA.
- La quebrada Serezuela se identifica en el POMCA y la cartografía del IGAC con un ramal afluente a la quebrada identificado como un drenaje intermitente.
- Del análisis de los mapas de Gestión del Riesgo del POMCA del río Bogotá, en el Plan Parcial se identifican áreas de amenaza baja y media por Avenidas Torrenciales y zonas de amenaza alta por incendios de la cobertura vegetal. En el desarrollo del PP es necesario identificar estas áreas y darles un adecuado manejo. En el caso de las áreas de amenaza baja y media por Avenidas Torrenciales, FCS recomienda realizar un análisis geomorfológico desde el cual se pueda determinar o descartar la existencia de amenaza por Avenidas Torrenciales.
- Así mismo, del análisis de los mapas de Áreas de Ecosistemas estratégicos del POMCA, se identifican áreas como zonas de recarga de acuíferos. Se recomienda realizar el estudio hidrogeológico correspondiente en el cual se descarten o definan estas áreas para ser tenidas en cuenta dentro del desarrollo del Plan Parcial.
- Los resultados obtenidos de la simulación hidrológica de los cuerpos de agua que surcan el área de estudio del Plan Parcial Delta, Silical y Calicanto, muestran que, para un periodo de retorno de 100 años, se esperan crecientes máximas del orden de los 10.0 m³/s y 3.2 m³/s para las quebradas Serrezuela y El Encuentro, respectivamente. Asimismo, los caudales máximos asociados a un periodo de retorno de 5 años son de 4.4 m³/s y 1.7 m³/s.
- Los resultados y análisis presentados en este informe obedecen a las condiciones hidrológicas actuales de las cuencas estudiadas (bajo los lineamientos técnicos estipulados en la NS-085 de la EAAB-ESP), por lo que, en el evento de generar cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo de dichas cuencas, los valores reportados deben someterse a un nuevo análisis. En este sentido, asociado a los procesos de desarrollo urbanístico que se generen sobre el predio se recomienda se prevea la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), los cuales deben ser diseñados con el objeto de mitigar las crecientes mayores relacionadas con los cambios de cobertura en las áreas de drenaje.
- Se recomienda que los diseños urbanísticos que se generen para el PP contemplen realizar un manejo paisajístico de los drenajes analizados. Así pues, si dichas corrientes fuesen intervenidas, es preciso que los diseños hidráulicos consideren las condiciones tanto aguas arriba como aguas debajo de los eventuales tramos a intervenir. En este sentido, se sugiere sean elaborados los análisis hidráulicos que permitan modelar, las posibles dinámicas hidráulicas que se presenten bajo las condiciones anteriormente expuestas.

- Se sugiere se tenga en cuenta las altas velocidades (y en general el potencial erosivo) que en el tránsito de crecientes sobre las quebradas Serrezuela y El Encuentro existan, entendiendo las características torrenciales de dichas cuencas. Asimismo, se recomienda sean verificadas las capacidades hidráulicas de las obras de captación y conducción de las distintas obras que reciben tales drenajes.

7 Referencias

EAAB-Norma Técnica NS – 085 versión 4.1 (24/11/2020). Criterios para diseño de sistemas de alcantarillado. Obtenido de NS-085: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

POMCA RÍO DE BOGOTÁ. Cartografía POMCA Río de Bogotá.

Obtenido de: <https://www.car.gov.co/vercontenido/41>

IDECA GEOPORTAL. Información cartográfica disponible en la GDB de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA (versión de septiembre de 2022).

Obtenido de: <https://www.ideca.gov.co/>

IGAC GEOPORTAL. Plancha 228-III-A.

Obtenido de: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac>

8 Anexos

ANEXO 1. Modelo hidrológico en HEC HMS.

ANEXO 2. Memorias de cálculos hidrológicos.

ANEXO 3. Tablas con listado de información secundaria dada por Conplanificadas,