ALCALDÍA MUNICIPAL DE COTA
CUNDINAMARCA

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO
ALCANTARILLADO AGUAS LLUVIAS

INFORME DE HIDROLOGÍA

I.C. JOSÉ ALEJANDRO BALLÉN SUÁREZ

Cota – Cundinamarca, Octubre de 2016

CONTROL DE DOCUMENTOS

CÓDIGO Y NOMBRE DEL DOCUMENTO: INFORME DE HIDROLOGÍA

CONTROL DE REVISIÓN

VERSIÓN No.	**No. PÁGINAS**	**FECHA**	**ELABORÓ**	**APROBÓ**	**DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN**
1	64	17/10/2016	Alejandro Ballén		Versión inicial del Documento

Elaboró	Revisó	Aprobó
Firma Ing. Alejandro Ballén DIRECTOR DEL PROYECTO	Firma Ing.	Firma Ing.

ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA EN LOS SITIOS DE DESCARGA DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COTA SOBRE EL RÍO BOGOTÁ, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

ÍNDICE

Capítulo **Página**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO 2. LOCALIZACIÓN 2
2.1 RÍO BOGOTÁ COLECTOR SUR 2
2.2 QUEBRADA LOS MANZANOS 3
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS 4
3.1 OBJETIVOS GENERAL 4
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO 4
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO 5
4.1 RIO BOGOTÁ 5
4.2 QUEBRADA LOS MANZANOS 5
CAPÍTULO 5. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE 7
5.1 RIO BOGOTÁ 7
5.2 QUEBRADA LOS MANZANOS 7
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y CAUDALES EN LOS PUNTOS DE ESTUDIO 9
6.1 RIO BOGOTÁ 9
6.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN 11
6.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA 12
6.1.3 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS EN LA ZONA DE PROYECTO 13
6.2 QUEBRADA LOS MANZANOS 18
6.2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 18
6.2.2 Caracterización Orográfica e Hidrográfica del Proyecto 19
6.2.3 METODOLOGÍA 19
6.2.4 CARTOGRAFÍA 20
6.2.5 ANÁLISIS DE LLUVIAS 20
6.2.6 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL 22
6.2.7 ANÁLISIS DE CAUDALES 23
6.2.8 JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS 38
6.2.9 APLICACIÓN DE TEORÍAS Y MÉTODOS DE PREDICCIÓN 39
CAPÍTULO 7. MODELACIÓN HIDRÁULICA RIO BOGOTÁ 40
CAPÍTULO 8. MODELACIÓN HIDRÁULICA Q LOS MANZANOS 42
CAPÍTULO 9. CURVAS IDF 47
9.1 INTENSIDAD DE LA LLUVIA: CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF) 47
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52
10.1 RIO BOGOTÁ COLECTOR SUR 52

10.2 QUEBRADA LOS MANZANOS COLECTOR NORTE..... 54
CAPÍTULO 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Información Hidroclimatológica suministrada por el IDEAM
Anexo 2. Información Hidroclimatológica Suministrada por la CAR
Anexo 3. Modelo Computacional HEC-HMS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Coordenadas puntos de análisis 2
Tabla 6-1. Estaciones Empleadas en la Caracterización Climatológica 9
Tabla 6-2. Características Estaciones Medidoras de Caudal Zona de Proyecto 14
Tabla 6-3. Caudales Máximos Anuales a Nivel Anual Multianual Estaciones EAB y CAR 15
Tabla 6-4. Rio Bogotá - Puente La Virgen Frecuencias de Caudales Máximos Anuales.. 16
Tabla 6-5. Áreas Hasta Puntos de Descarga y Estación 18
Tabla 6-6. Caudales Puntos de Descarga Sanitaria 18
Tabla 6-7. Restituciones Aerofotogramétricas Utilizadas 20
Tabla 6-8. Estaciones Empleadas en la Caracterización Climatológica 21
Tabla 6-9. Precipitación Media Mensual y Anual Multianual Estación Medidora de Precipitación 22
Tabla 6-10. Estación Medidora de Precipitación – Datos Históricos de Precipitación Máxima en 24 Horas 24
Tabla 6-11. Estación Sta Inés – Curva de Intensidad Duración Frecuencia 25
Tabla 6-12. Tiempo de Concentración 28
Tabla 6-13. Curva de Masas de los Aguaceros Puntuales – Estación Sta Ines (Valores en mm) 28
Tabla 6-14. Incrementos de Lluvias Puntuales de los Hietogramas de Precipitación – Zona de Influencia Estación Sta Ines (Valores en mm) 29
Tabla 6-15. Incrementos Arreglados de Lluvias Puntuales de los Hietogramas de Precipitación – Área de Influencia Estación Sta Inés (Valores en mm) 29
Tabla 6-16. Incrementos Arreglados de Lluvias Espaciales de los Hietogramas de Precipitación – Área de Influencia Sitio de Proyecto (Valores en mm) 31
Tabla 6-17. Valores de CN 33
Tabla 6-18. Caudales Máximos Instantáneos 37
Tabla 9-1. Cálculo curvas IDF 50

LISTA DE FIGURAS

Número **Título**

Figura 6-1. Rio Bogotá - Puente La Virgen Frecuencias de Caudales Máximos Anuales 17
Figura 6.2. Histograma de Precipitación Estación Pluviométrica Sta Ines 23
Figura 6.3. Estación Sta Inés – Curva de Intensidad Duración Frecuencia 26
Figura 7-1 Sección Transversal Rio Bogotá, a la altura del Punto 1. 40
Figura 9-1 Curvas IDF 51

LISTA DE IMÁGENES

Número **Título**

Imagen 2-1. Localización Zona de Estudio y Puntos de Descarga..... 2
Imagen 2-2. Localización Zona de Estudio y Puntos de Descarga de Colector de Aguas Lluvias 3
Imagen 6-1. Isoyetas Hoya hidrográfica Río Bogotá Hasta el Sitio de Proyecto..... 12
Imagen 6-2. Isotermas Hoya Hidrográfica río Bogotá hasta Sitio de Proyecto 13
Imagen 6-3. Ubicación Estaciones de Caudal..... 14
Imagen 6-4Localización Sitio de Descarga Colector Aguas Lluvias 18
Imagen 6-5 Localización Geográfica Estaciones Medidoras de precipitación 21
Imagen 6-6. Clasificación de Cobertura Vegetal Hoya Hidrográfica – Quebrada Los Manzanos..... 34
Imagen 6-7. Características de Entrada Modelo HEC-HMS Quebrada Los Manzanos 36
Imagen 6-8. Hietograma de la Lluvia Espacial de la Subcuenca de la Hoya Hidrográfica de la Quebrada Manzanos para un Periodo de Retorno de 100 Años 37
Imagen 6-9. Histograma de Crecientes para un Periodo de Retorno de 100 Años Quebrada Manzanos en el Sitio de Proyecto..... 37
Imagen 8-1. Planos topográficos, levantamiento Q. Los Manzanos..... 42
Imagen 8-2. Modelo Digital de Terreno Q. Los Manzanos 43
Imagen 8-3. Modelo HEC RAS Q Los Manzanos..... 44
Imagen 8-4. Perfil Principal Q Los Manzanos TR 100 AÑOS 45
Imagen 8-5. Sección 0+200 Q. Los Manzanos TR 100 AÑOS 45
Imagen 8-6. Isométrico comportamiento Q. Los Manzanos TR 100 AÑOS..... 46

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se realiza con el fin de definir los caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno en tres puntos diferentes sobre el río Bogotá. Los puntos donde se requiere el caudal son porque allí se proyectan las descargas del alcantarillado Pluvial del municipio de Cota.

El presente informe se realiza con el fin de definir los caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno de la quebrada Los Manzanos, más específicamente en el sitio donde se proyecta la descarga del colector de aguas lluvias sobre la quebrada Los Manzanos, la cual se localiza en el municipio de Cota.

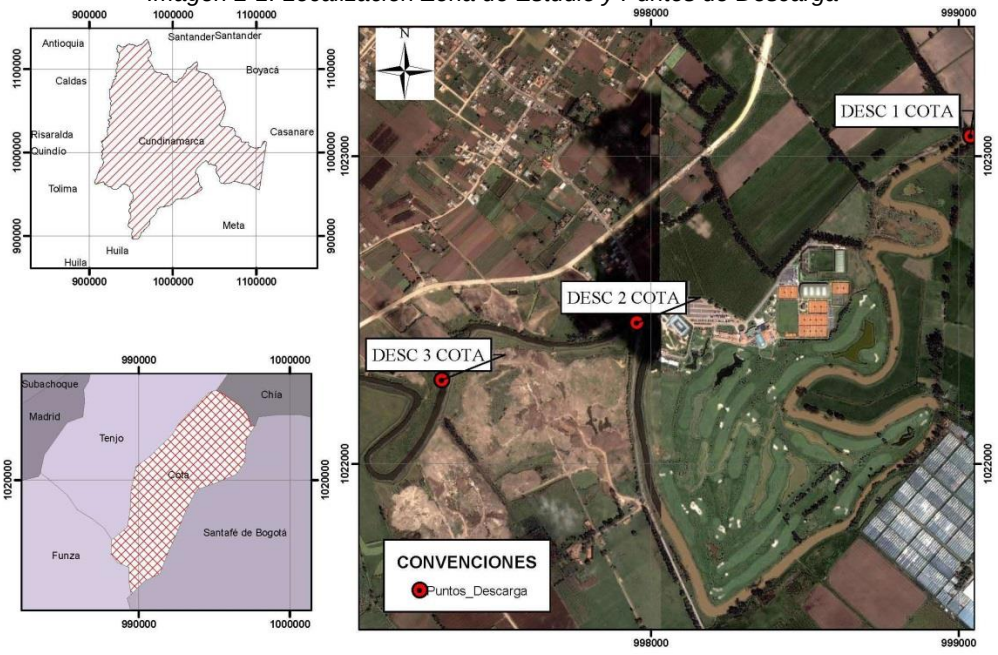
Así mismo en este informe hidrológico se analiza la validez curvas IDF utilizadas en el Plan Maestro de Alcantarillado.

CAPÍTULO 2. LOCALIZACIÓN

2.1 RÍO BOGOTÁ COLECTOR SUR

El proyecto se localiza en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca. Tal como se ha mencionado anteriormente el presente análisis se realiza a los puntos de descarga de alcantarillado pluvial del municipio de Cota, los cuales desembocan en el río Bogotá, a la altura del municipio de Cota. En la Imagen 2-1 se presenta la localización general y los puntos de descarga.

Imagen 2-1. Localización Zona de Estudio y Puntos de Descarga



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se registran las coordenadas de los tres puntos evaluados en el presente informe:

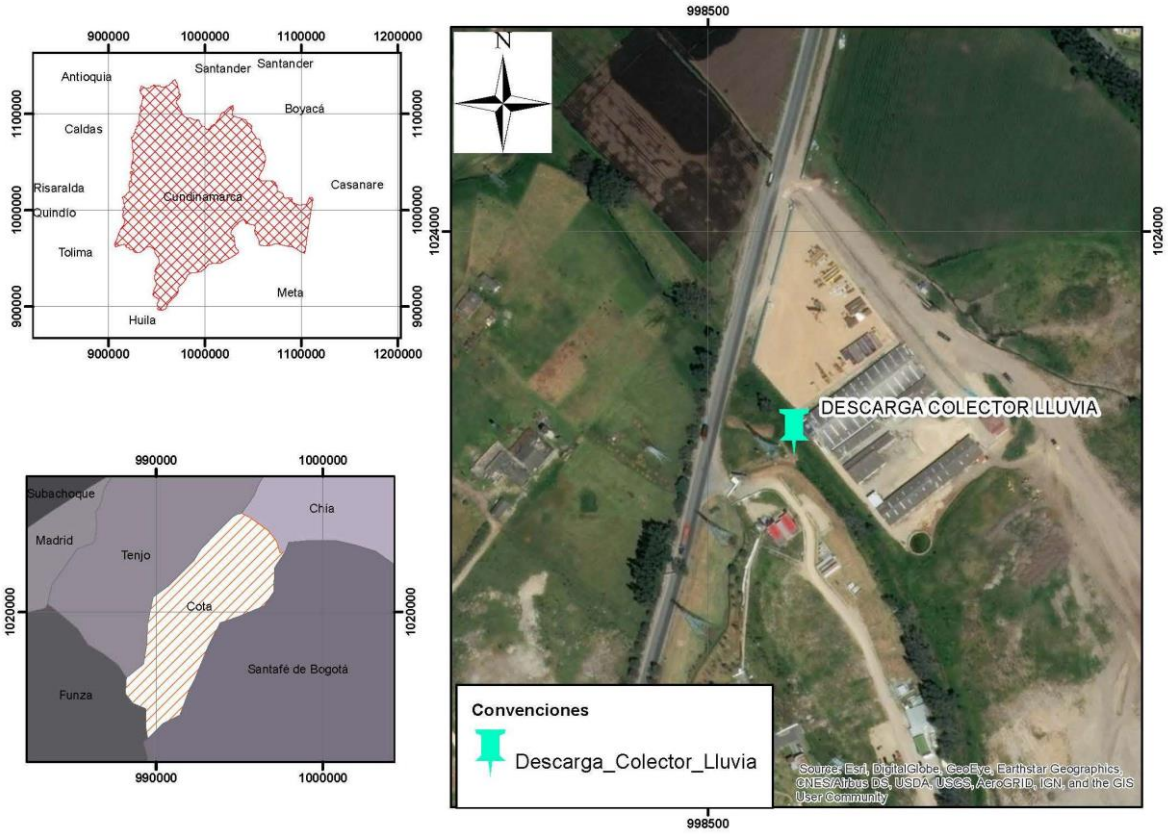
Tabla 2-1. Coordenadas puntos de análisis

PUNTO	Coordenada Este	Coordenada Norte	Descripción
1	999026	1023070	Rio Bogotá Q. Los Manzanos
2	997436	1022463	Rio Bogotá Proyección Calle 4
3	996997	1022294	Rio Bogotá Proyección Calle 2

2.2 QUEBRADA LOS MANZANOS

Tal como se ha mencionado anteriormente el presente análisis se realiza con el fin de obtener los caudales máximos instantáneos de la quebrada Los Manzanos en el sitio donde se pretende descargar el colector de aguas lluvias proyectado en la actualización del plan maestro del municipio de Cota. En la Imagen 2-1 se presenta la localización general y el punto de descarga proyectado.

Imagen 2-2. Localización Zona de Estudio y Puntos de Descarga de Colector de Aguas Lluvias



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERAL

- Realizar el estudio hidrológico del río Bogotá, más específicamente en los puntos de descarga del alcantarillado pluvial del municipio de Cota, situado en el departamento de Cundinamarca.

3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar en análisis hidrológico del río Bogotá, específicamente en los tres puntos de entrega del alcantarillado pluvial a la corriente anteriormente mencionada, definiendo los caudales máximos asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Realizar en análisis hidrológico de la quebrada Los Manzanos, específicamente en el punto anteriormente mencionado, definiendo los caudales máximos asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

4.1 RIO BOGOTÁ

Para la realización del estudio de hidrología se ha tenido en cuenta la siguiente metodología:

- Realizar una visita técnica en los puntos de entrega del alcantarillado pluvial al río Bogotá, con el fin de delimitar la zona de interés y evaluar de manera visual la situación del cauce.

- Realizar el análisis de la información hidrometeorológica y cartográfica recopilada de la zona de estudio para determinar las variables involucradas dentro del estudio hidrológico. Cabe destacar que en los registros recopilados se incluyen los datos hidrometeorológicos de las temporadas invernales asociadas al fenómeno de La Niña de los últimos años.

- Analizar la precipitación media, se realiza un análisis de la distribución espacial y otros factores climáticos que pueden influir durante la construcción.

- Determinar caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años a través de la información hidrométrica disponible para la zona.

4.2 QUEBRADA LOS MANZANOS

Para la realización del estudio de hidrología se ha tenido en cuenta la siguiente metodología:

- Realizar una visita técnica en el sitio de proyecto sobre la quebrada Los Manzanos, con el fin de delimitar la zona de interés y evaluar de manera visual la situación del cauce.

- Realizar el análisis de la información hidrometeorológica y cartográfica recopilada de la zona de estudio para determinar las variables involucradas dentro del estudio hidrológico. Cabe destacar que en los registros recopilados se incluyen los datos hidrometeorológicos de las temporadas invernales asociadas al fenómeno de La Niña de los últimos años.

- Analizar la precipitación media, se realiza un análisis de la distribución espacial y otros factores climáticos que pueden influir durante la construcción.

Determinar caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años a través de la información hidrométrica disponible para la zona

CAPÍTULO 5. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

5.1 RIO BOGOTÁ

El estudio se realizó con información secundaria recopilada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC y en el Instituto de Hidrología, Meteorología, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAB, complementada con información primaria recolectada por los consultores durante el trabajo de campo.

La información secundaria se obtuvo de los siguientes documentos:

- Restituciones aerofotogramétricas del IGAC para la región en escala 1:100000.
- Valores medios mensuales de precipitación total mensual y caudales máximos mensuales, tomados de datos suministrados por la CAR y EAB en la zona de proyecto, representativos de la climatología y caudales, con un período de registro de suficiente longitud para poder tener una buena confiabilidad en los datos resultantes.

La información primaria se recopiló en campo, y se refiere a las caracterizaciones hidrológicas e hidráulicas pertinentes para el diseño del puente proyectado.

Tanto la información secundaria como la primaria se analizaron según los procedimientos estadísticos y matemáticos requeridos.

Los datos recolectados de las diferentes entidades y parámetros se presentan en el Anexo 1.

5.2 QUEBRADA LOS MANZANOS

El estudio se realizó con información secundaria recopilada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC y en el Instituto de Hidrología, Meteorología, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, complementada con información primaria recolectada por los consultores durante el trabajo de campo.

La información secundaria se obtuvo de los siguientes documentos:

- Restituciones aerofotogramétricas del IGAC para la región en escala 1:10000.

- Valores medios mensuales de precipitación total mensual y caudales máximos mensuales, tomados de datos suministrados por la CAR en la zona de proyecto, representativos de la climatología, con un período de registro de suficiente longitud para poder tener una buena confiabilidad en los datos resultantes.

La información primaria se recopiló en campo, y se refiere a las caracterizaciones hidrológicas e hidráulicas pertinentes para el diseño del puente proyectado.

Tanto la información secundaria como la primaria se analizaron según los procedimientos estadísticos y matemáticos requeridos.

Los datos recolectados de las diferentes entidades y parámetros se presentan en el Anexo 2.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y CAUDALES EN LOS PUNTOS DE ESTUDIO

6.1 RIO BOGOTÁ

El presente estudio como se ha mencionado anteriormente se realiza para hallar los caudales del río Bogotá en los puntos de descarga del alcantarillado sanitario del municipio de Cota. Con el fin de realizar estos estudios primero se realizará una caracterización climatológica basada en información secundaria. Las estaciones empleadas en esta caracterización se presentan en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Estaciones Empleadas en la Caracterización Climatológica

CODIGO	TIPO	NOMBRE DE ESTACION	NOMBRE SUBCUENCA	DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		ELEVACIÓN
						Y(Norte)	X(Este)	(msnm)
2120027	PG	SAUCIO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1057200.00	1039700.00	2670
2120074	PG	ZIPAQUIRÁ	R. NEGRO	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRÁ	1047850.00	1007620.00	2655
2120046	PM	LA VIRGINIA	R. FRÍO	CUNDINAMARCA	TABIO	1037985.00	1001130.00	2620
2120043	PG	VILLAPINZÓN	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZÓN	1068230.00	1052450.00	2700
2120640	CO	LA VICTORIA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	TOCAIMA	985690.00	941710.00	380
2120026	CO	VENTALARGA	R. FRÍO	CUNDINAMARCA	TABIO	1053180.00	1002950.00	3062
2120111	PM	USAQUÉN	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	1010630.00	1005770.00	2647
2120077	PM	TORCA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	1021800.00	1005320.00	2579
2120104	PM	TOCANCIPÁ	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	TOCANCIPÁ	1040820.00	1017940.00	2580
2120636	CO	TATAMBO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	RICAURTE	967800.00	924000.00	380
2120565	CP	TABIO	R. CHICÚ	CUNDINAMARCA	TABIO	1018625.64	1016396.04	2620
2120103	PG	STA TERESA	R. TEUSACÁ	CUNDINAMARCA	LA CALERA	1017300.00	1017300.00	3080
2120176	PM	STA ISABEL	R. FRÍO	CUNDINAMARCA	TABIO	1044050.00	1001070.00	2680
2120136	PM	STA INES	R. CHICÚ	CUNDINAMARCA	TENJO	1023000.00	993400.00	2550
2120073	PM	STA ANA	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	NEMOCÓN	1054740.00	1021760.00	2575
2120027	PG	SAUCIO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1057200.00	1039700.00	2670
2120080	PM	SAN JOSÉ	EMB. TOMINÉ	CUNDINAMARCA	GUASCA	1026900.00	1020940.00	2700
2120088	PG	EL SALITRE	EMB. NEUSA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1064200.00	1008400.00	3140
2120659	CO	REPRESA SISGA	EMB. SISGA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1053627.00	1038324.00	2675
2120539	CO	REPRESA SISGA	EMB. SISGA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1053813.64	1038620.04	2675
2120171	PG	REPRESA SISGA	EMB. SISGA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1053900.00	1038500.00	2675
2120541	AU	REPRESA DEL NEUSA	EMB. NEUSA	CUNDINAMARCA	COGUA	1061221.64	1010840.04	3100
2120516	CP	LA RAMADA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	FUNZA	1013069.64	988620.04	2545
2120181	PG	POZO AZUL	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	GIRARDOT	969200.00	917550.00	450
2312019	PM	LOS PINOS	R. NEGRO	CUNDINAMARCA	TAUSA	1070730.00	1005190.00	3477
2120156	PG	LA PICOTA	R. TUNJUELO	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	995500.00	994600.00	2580
2120182	PG	PEÑAS BLANCAS	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	995200.00	967200.00	2450
2120178	PG	PEDRO PALO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	TENA	1009920.00	965470.00	2050
2120134	PG	PARQUE SOPÓ	R. TEUSACÁ	CUNDINAMARCA	SOPÓ	1036950.00	1010170.00	2540
2120646	CP	MESITAS	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	998273.64	962692.04	1100
2120525	CO	LA LUMBRE	R. TUNJUELO	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	1003730.00	987701.00	2540
2120170	PG	EL LLANO	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1063500.00	1026400.00	2850
2120169	PG	LADERA GRANDE	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1063400.00	1022500.00	2950
2120167	PG	EL HOYO ARRIBA	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	SUESCA	1060800.00	1027300.00	2780
2120214	PM	GUERRERO	R. FRÍO	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRÁ	1057250.00	1003780.00	3200
2120562	CP	GUATAVITA	EMB. TOMINÉ	CUNDINAMARCA	GUATAVITA	1023553.37	1034579.75	2625
2120060	PM	GUARANI EL PEÑOÓN	EMB. MUÑA	CUNDINAMARCA	SIBATÉ	980870.00	976070.00	2800
2120193	PM	GUANQUICA	EMB. NEUSA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1065100.00	1015520.00	3000
2120166	PM	EL FUTE	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	1002150.00	977280.00	2607
2120551	CO	FUTE	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	1000105.64	977508.04	2607
2120632	CO	LA FORTUNA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZÓN	1076000.00	1054400.00	2880
2120086	PM	LA FORTUNA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZÓN	1075620.00	1054900.00	2880
2120115	PG	EDIF. MANUEL MEJÍA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	1000500.00	1000500.00	2580
2120183	PM	DARÍO VALENCIA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	1000400.00	960600.00	790
2120096	PM	EL CONSUELO	EMB. TOMINÉ	CUNDINAMARCA	SESQUILÉ	1043500.00	1032500.00	2960
2120540	CP	CHECUA	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	NEMOCÓN	1057517.64	1023804.04	2580

CODIGO	TIPO	NOMBRE DE ESTACION	NOMBRE SUBCUENCA	DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		ELEVACIÓN
						Y(Norte)	X(Este)	(msnm)
2401515	CP	CARRIZAL	LAG. SUESCA	CUNDINAMARCA	CUCUNUBA	1067328.00	1034304.00	2880
2120187	PG	BOMBAS SESQUILÉ	EMB. TOMINÉ	CUNDINAMARCA	SESQUILÉ	1049890.00	1031100.00	2600
2120633	CO	BARRANCAS	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1062200.00	1025740.00	2720
2120095	PM	BARRANCAS	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	SUESCA	1062200.00	1025740.00	2720
2401031	PM	LOS ARRAYANES	R. SUÁREZ	CUNDINAMARCA	TINJACÁ	1109880.00	1040300.00	2575
2120644	CP	ARGELIA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	RICUARTE	974200.00	925400.00	320
2120559	CP	APTO GUAYMARAL	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	1023950.00	1001550.00	2560
2120051	PG	APOSTOLICA	EMB. MUÑA	CUNDINAMARCA	SIBATÉ	989870.00	971174.00	2618
2120177	PG	ANCLAJE 14	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	1000500.00	963800.00	1110
2120168	PG	ALTO DEL AIRE	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	CUCUNUBA	1065500.00	1028300.00	2900
2120113	PM	ALMAVIVA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHIA	1029965.00	1005600.00	2595
2120159	PG	ALCO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	CAJICA	1041700.00	1008000.00	2590
2120141	PM	ACANDY	R. CHECUA	CUNDINAMARCA	NEMOCÓN	1051680.00	1019820.00	2600
2120629	CP	VENECIA	R. BOJACÁ	CUNDINAMARCA	FACATATIVÁ	1029737.64	962692.04	2673
2120631	AU	TISQUESUSA	R. SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	FACATATIVÁ	1024181.64	973804.04	2570
2120510	CO	PUESTO DE MONTA	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1044060.00	1060940.00	2780
2120557	CP	LA PRIMAVERA	R. SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	1027885.64	984916.04	2590
2120561	CP	EL MUÑA	EMB. MUÑA	CUNDINAMARCA	SIBATÉ	994569.64	981212.04	2565
2120639	CP	LA MESA	R. APULO	CUNDINAMARCA	LA MESA	1003809.64	960840.04	1300
2120635	CO	LOS LAGOS	R. CALANDAIMA	CUNDINAMARCA	VIOTÁ	989013.64	960840.04	2000
2120548	CP	LA IBERIA	EMB. SISGA	CUNDINAMARCA	CHOCONTÁ	1048257.64	1040472.04	2760
2120647	CP	LA ESPERANZA	R. APULO	CUNDINAMARCA	LA MESA	1011217.64	971952.04	1240
2120641	CP	ESC SAMPER MADRID	R. CALANDAIMA	CUNDINAMARCA	APULO	990865.64	944172.04	550
2120630	CP	DOÑA JUANA	R. TUNJUELO	CUNDINAMARCA	SANTAFE DE BOGOTÁ	989013.64	990472.04	2700
2120637	CO	LAS VIOLETAS	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	AGUA DE DIOS	931870.00	973395.00	400
2120563	CP	STA ISABEL	R. FRÍO	CUNDINAMARCA	TABIO	1001200.00	1043500.00	2680
2120691	CP	PLANADAS	R. SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	996822.00	1050916.00	3373
2120634	CO	PARAISO PERDIDO	EMB. MUÑA	CUNDINAMARCA	SIBATÉ	976800.00	987300.00	2700
2120652	CO	PALOQUEMAO	R. APULO	CUNDINAMARCA	ZIPACÓN	967050.00	1018150.00	2450
2120190	CO	COL JOSE DE CALDAS	R. CALANDAIMA	CUNDINAMARCA	VIOTÁ	949766.00	983520.00	400
2120622	CP	UNIV NACIONAL	R. BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1003809.64	997880.04	2556
2120628	CO	ACAPULCO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	BOJACA	1003809.64	971952.04	2650
2120656	CO	INEM KENNEDY	R. BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1007207.43	993760.50	2580
2120663	CO	BILBAO MAXIMO POTI	R. BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1017195.91	998462.59	2600
2120666	CO	COL SANTIAGO PÉREZ	R. TUNJUELITO	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	997768.05	994086.99	2556
2120669	CO	COL MIGUEL A. CARO	R. BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1024025.30	1005149.64	2700
2120542	AM	TIBAITATA	BALSILLAS	CUNDINAMARCA	MOSQUERA	1011217.64	986768.04	2543
2120606	ME	CASABLANCA	BALSILLAS	CUNDINAMARCA	MADRID	1014921.64	981212.04	2575
2120618	CO	PRIMAVERA D MATIMA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	ANOLAIMA	1020477.64	957136.04	1850
2120621	ME	FLORES COLOMBIANAS	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1014921.64	990472.04	2560
2120626	CO	CORP UNIV AGROPEC UDCA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHIA	1022329.64	1001580.04	2570
2120649	ME	HATO ALTO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TENJO	1026033.64	992324.04	2570
2120657	CP	APTO CATAM	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1012096.16	991883.27	2546
2120660	CO	NVA GENERACIÓN AUTOMÁTICA	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1020592.63	998142.18	2590
2120662	CO	COL H DURAN DUSAN	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1004222.39	989296.26	2562
2120665	CO	COL SAN CAYETANO	TUNJUELITO	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	991204.86	998887.42	3100
2120697	CO	UNISALLE CENTRO	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	999856.75	1000713.05	2700
21205013	CO	UNISALLE NORTE	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOTÁ	1021830.44	1005149.24	2595
2120062	PM	PISCIS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	1051961.64	1042324.04	2820
2120078	PM	POTRERO LARGO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	GUATAVITA	1037145.64	1033064.04	2780
2120106	PG	PANTANO REDONDO 1	FRIO	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	1048257.64	1005284.04	3160
2120110	PM	TOCAIMA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TOCAIMA	985309.64	936764.04	490
2120114	PM	ESPERANZA LA	FRIO	CUNDINAMARCA	TENJO	1024181.64	988620.04	2555
2120119	PM	LAGUNITAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1068629.64	1018248.04	3100
2120121	PM	HATO EL	SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	TENJO	1029737.64	992324.04	2575
2120123	PM	ENMANUEL D ALZON	TIBABUYES	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1013069.64	999732.04	2550
2120124	PM	STA MARIA DE USME	TUNJUELITO	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	989013.64	996028.04	2800
2120130	PM	AUSTRALIA	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	977901.64	994176.04	3050
2120132	PM	UNION LA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	990865.64	977508.04	2640
2120158	PM	PASQUILLA	TUNJUELITO	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	983457.64	990472.04	3000
2120161	PM	SAN ISIDRO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	GUASCA	1027885.64	1020100.04	2698
2120163	PG	TABIO GJA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TABIO	1038997.64	1001580.04	2600

CODIGO	TIPO	NOMBRE DE ESTACION	NOMBRE SUBCUENCA	DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		ELEVACIÓN
						Y(Norte)	X(Este)	(msnm)
2120558	CO	VENADO ORO VIVERO	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1000301.79	1001777.39	2725
2120566	CO	MERCEDES LAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	ANAPOIMA	996421.64	947876.04	810
2120567	CO	FLORIDA LA	BAJAMON	CUNDINAMARCA	ANOLAIMA	1018625.64	960840.04	1915
2120570	CO	GUASCA	CHIPATA	CUNDINAMARCA	GUASCA	1029737.64	1021952.04	2750
2120571	CO	JARDIN BOTANICO	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1009365.64	997880.04	2552
2120572	CO	SAN JORGE GJA	SOACHA	CUNDINAMARCA	SOACHA	990865.64	986768.04	2900
2120574	CO	SILOS	SISGA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	1059369.64	1044176.04	2560
2120575	CO	REP LOS MUCHACHOS	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1014921.64	990472.04	2560
2120579	SP	APTO ELDORADO P1-2	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1013069.64	992324.04	2547
2120585	ME	COLOMBIANO EL	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SESQUILE	1046405.64	1025656.04	2575
2120589	ME	GUANATA	FRIO	CUNDINAMARCA	CHIA	1033441.64	1003432.04	2550
2120591	ME	COSECHA LA	FRIO	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	1044553.64	1008988.04	2600
2120592	ME	SUASUQUE	TEUSACA	CUNDINAMARCA	SOPO	1024181.64	1012692.04	2650
2120594	ME	VILLA INES	CHECUA	CUNDINAMARCA	FACATATIVA	1026033.64	966396.04	2590
2120596	ME	TACHI	SUBACHOQUE	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	1038997.64	992324.04	2650
2120597	ME	STA ANA HDA	CHECUA	CUNDINAMARCA	NEMOCON	1055665.64	1021952.04	2572
2120598	CO	PROVIDENCIA GJA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TENJO	1022329.64	986768.04	2560
2120601	ME	LORETOKI HDA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SUESCA	1053813.64	1031212.04	2550
2120602	ME	SANTILLANA	CHICU	CUNDINAMARCA	TABIO	1033441.64	997880.04	2575
2120165	PM	STA ROSITA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SUESCA	1057517.64	1036768.04	2750
2120192	PM	ALTO SAN MIGUEL	EMB MUNA	CUNDINAMARCA	SIBATE	983457.64	975656.04	2750
2120216	PM	HIDROPARAISO	R. BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	998026.71	963347.20	1600
2120016	PM	PANONIA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	1051961.64	1038620.04	2800
2120105	PM	LOURDES	BOGOTA	CUNDINAMARCA	GUATAVITA	1040849.64	1023804.04	2750
2120107	PM	CORAZON EL	BALSILLAS	CUNDINAMARCA	FACATATIVA	1029737.64	977508.04	2580
2120109	PM	VIOTA	LINDO	CUNDINAMARCA	VIOTA	981605.64	949728.04	567
2120118	PM	GUANQUICA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TAUSA	1064925.64	1014544.04	2950
2120120	PM	ESC LA UNION	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	970493.64	988620.04	3320
2120122	PM	STA CRUZ DE SIECHA	SIECHA	CUNDINAMARCA	GUASCA	1026033.64	1021952.04	3100
2120125	PM	SAN PEDRO	TEUSACA	CUNDINAMARCA	SOPO	1029737.64	1014544.04	2600
2120131	PM	PREVENTORIO INFANT	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	985309.64	979360.04	2650
2120155	PM	ROBLE EL	BOGOTA	CUNDINAMARCA	MADRID	1022329.64	983064.04	2560
2120160	PG	EDIFICIO HIMAT	BOGOTA	BOGOTÁ	SANTAFE DE BOGOT	1001016.17	1000666.14	2685
2120164	PG	VILLAPINZON GJA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZON	1072333.64	1055288.04	2745

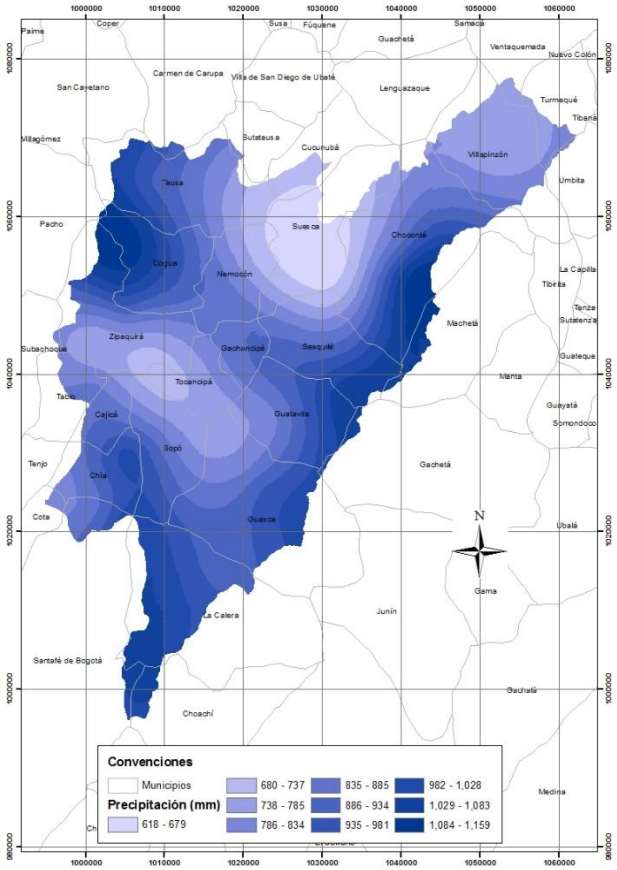
Nota: PG: Estación Pluviográfica
PM: Estación Pluviométrica
CO: Estación Climatológica Ordinaria
CP: Estación Climatológica Principal

Fuente: Elaboración Propia

6.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Con el fin de caracterizar la precipitación se realizó el mapa de isoyetas anuales de precipitación para la hoya hidrográfica del río Bogotá a partir de la información de precipitación total anual de las estaciones medidoras de éste parámetro existente en la CAR (información abierta al público de forma gratuita). Tomando las diferentes estaciones ubicadas dentro de la hoya hidrográfica del río Bogotá y sus registros totales anuales promedio y por medio de programas GIS, se realizaron las isoyetas de precipitación de la hoya hidrográfica del río Bogotá. El resultado de lo anterior se presenta en la Imagen 6-1.

Imagen 6-1. Isoyetas Hoya hidrográfica Río Bogotá Hasta el Sitio de Proyecto



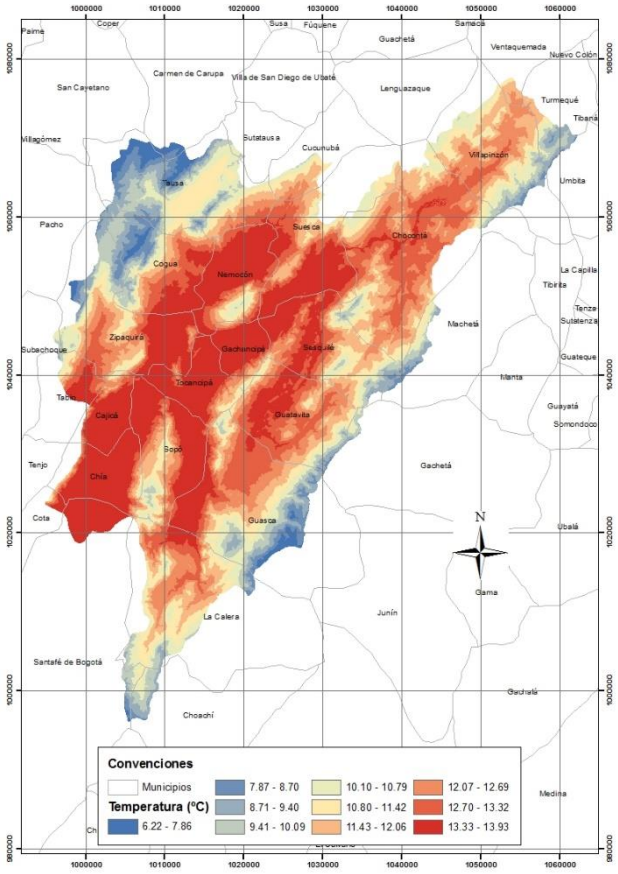
Fuente: Elaboración Propia

En la hoya hidrográfica del río Bogotá hasta el sitio de proyecto no se tienen valores totales de precipitación muy elevados, estos rondan entre 680 y 1160 mm al año. La zona donde mayores precipitaciones se presentan es hacia la parte oriental en las partes altas de los municipios de Guatavita, Guasca y Sesquilé.

6.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA

Con el fin de caracterizar la temperatura se realizó el mapa de isotermas anuales de la hoya hidrográfica del río Bogotá a partir de la información de temperatura promedio anual de las estaciones medidoras de éste parámetro existente en la CAR (información abierta al público de forma gratuita). Tomando las diferentes estaciones ubicadas dentro de la hoya hidrográfica del río Bogotá y sus registros anuales promedio, junto con las elevaciones de existentes en la zona y por medio de programas GIS, se realizaron las isotermas de la hoya hidrográfica del río Bogotá. El resultado de lo anterior se presenta en la Imagen 6-2.

Imagen 6-2. Isotermas Hoya Hidrográfica río Bogotá hasta Sitio de Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

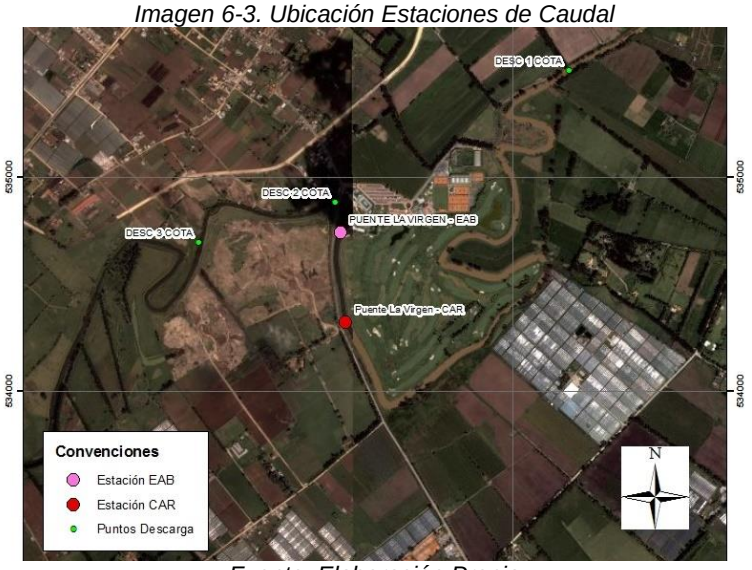
La temperatura hasta la zona de estudio tiene valores entre 6 y 14 ºC, presentando en la zona de estudio valores cercanos a 14 ºC. En general el clima de la zona es frío, en algunas zonas presenta climas de páramo mientras que en la zona de estudio se presenta un clima típico de la Sabana de Bogotá.

6.1.3 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS EN LA ZONA DE PROYECTO

La hoya hidrográfica del río Bogotá presenta una gran complejidad en cuanto a los caudales, esto se debe a que es una hoya que tiene una gran cantidad de embalses y otros elementos de regulación como compuertas; haciendo que hallar sus caudales mediante modelos de lluvia escorrentía conlleven una gran complejidad. Sin embargo, en el río Bogotá existen una buena cantidad de estaciones medidoras de caudal, lo cual permite obtener los caudales en diferentes puntos y en muchos casos extrapolar estos datos a otras zonas por medio de diferentes correlaciones hidrológicas, tal como es la correlación de áreas.

En la zona de estudio se encuentran dos estaciones medidoras de caudal las cuales son Puente La Virgen operada por la CAR la cual presenta registros desde el año 2007 hasta el 2014, la otra estación que se encuentra es la estación de Puente La Virgen operada por la EAB, la cual tiene registros desde 1990 hasta 2012 (no presenta datos entre 2004 y 2008). La estación de la EAB no presenta registros de caudal desde el año 2012 debido que en este año se comenzó la adecuación hidráulica del río Bogotá y la EAB decidió no seguir con la mediciones de éste tipo debido a la influencia de la adecuación en el comportamiento hidráulico del río, en la actualidad esta estación solo presenta datos de niveles pero no son traducidos a caudal. Las dos estaciones mencionadas se encuentran muy cercanas entre sí, y son muy representativas de los puntos de descarga. En la Imagen 6-3 se presenta la ubicación de las estaciones medidoras de caudal mencionadas y los puntos de descarga.

Imagen 6-3. Ubicación Estaciones de Caudal



Fuente: Elaboración Propia

En primera instancia y con el fin de conocer las características de cada una de las estaciones mencionadas se realizó la Tabla 6-2, donde se presenta el tipo de estación y su ubicación.

Tabla 6-2. Características Estaciones Medidoras de Caudal Zona de Proyecto

CODIGO	TE	NOMBRE DE ESTACION	CORRIENTE	DPTO.	MUNICIPIO	COORD PLANAS		ELEVACIÓN
						Y(Norte)	X(Este)	(msnm)
2120973	LM	Puente La Virgen CAR	R Bogotá	Cundinamarca	Bogotá	1022171	998028	2560
20811	LG	Puente La Virgen EAB	R Bogotá	Cundinamarca	Bogotá	1022317	997978	2571
Nota	LG	Limnigráfica						
	LM	Limnimétrica						

Fuente: Elaboración Propia

La información recolectada de estas estaciones como se mencionó anteriormente se presenta en el Anexo 1. Tomando en consideración la información recibida se encuentra que la información de la CAR presenta muy pocos años de registro, mientras que la de la EAB presenta un periodo de mayor longitud. En la Tabla 6-3 se presentan los datos de caudales máximos anuales extraídos de la información recolectada para cada estación.

Tabla 6-3. Caudales Máximos Anuales a Nivel Anual Multianual Estaciones EAB y CAR

Año	Pte La Virgen CAR (m³/s)	Pte La Virgen EAB (m³/s)	Datos Tomados (m³/s)
1990	-	23.5	23.5
1991	-	23.39	23.39
1992	-	22.12	22.12
1993	-	26.57	26.57
1994	-	26.57	26.57
1995	-	18.66	18.66
1996	-	21.5	21.5
1997	-	15.16	15.16
1998	-	25.33	25.33
1999	-	34.49	34.49
2000	-	23.5	23.5
2001	-	15.64	15.64
2002	-	31.68	31.68
2003	-	17.5	17.5
2004	-	-	-
2005	-	-	-
2006	-	-	-
2007	26.398	-	26.398
2008	38.27	35.59	38.27
2009	23.405	23.06	23.405
2010	57.415	42.42	57.415
2011	80.43	51.85	80.43
2012	70.332	48.79	70.332
2013	30.898	-	30.898
2014	16.383	-	16.383
Número de Datos	8	19	22
Media	42.94	27.75	30.42
Desviación Típica	23.58	10.57	17.28
Coeficiente de Asimetría	0.63	1.10	1.96

Fuente: Elaboración Propia

Al observar los datos se tiene que para los años 2010, 2011 y 2012 los caudales de las estaciones de la CAR y la EAB presentan diferencias entre 15 y 29 m³/s por segundo, sin embargo en los años 2008 y 2009 estas diferencias eran apenas perceptibles. Cuando se miran los datos con mayor detenimiento los valores de caudales en ambas estaciones para valores inferiores a 30 m³/s no tienen mayor variación (+/-2 m³/s), una vez se registran valores mayores a éste valor se comienzan a presentar la diferencias mencionadas anteriormente. Cabe recordar que estos caudales se obtienen de curvas de calibración para la sección donde se encuentra la estación y en general es difícil que estás curvas se

elaboren con datos que presenten un gran criticidad, como se presentó en el año 2010-2011 ya que estos fueron eventos extraordinarios, asociados al fenómeno de La Niña.

Tomando en consideración lo anterior y dadas las diferencias en los registros entre ambas estaciones y la cercanía de las mismas, se decidió tomar el registro más crítico de cada año para realizar los análisis de caudal para la zona y generar un único registro esto con el fin de estar por el lado de la seguridad. Esto se presenta en la Tabla 6-3.

6.1.3.1 Análisis Probabilísticos de Caudales Máximos

Los datos de registros de caudales máximos instantáneos anuales históricos mostrados en la Tabla 6-3, se tomaron para realizar ajustes probabilísticos y hallar los caudales para diferentes periodos de retorno.

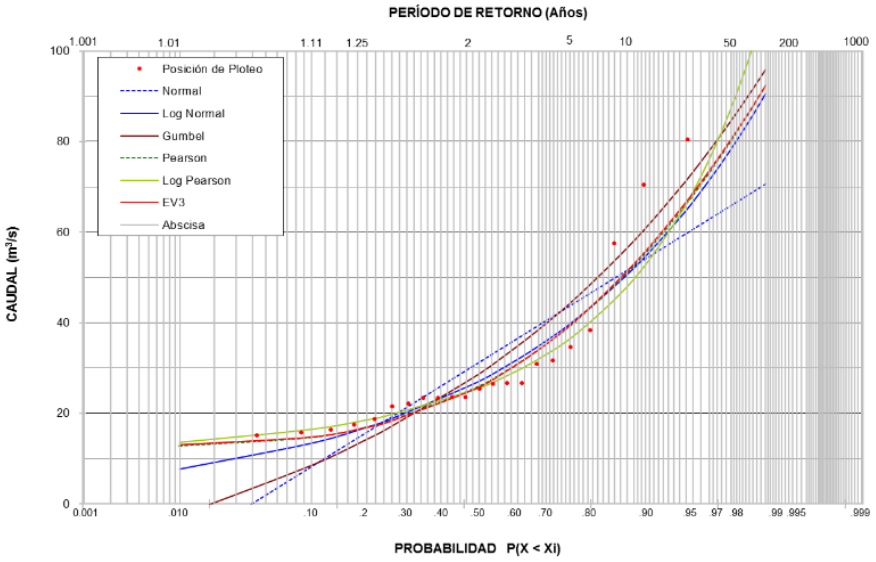
Los datos de caudales máximos instantáneos anuales históricos mostrados anteriormente en la Tabla 6-3 se ajustaron a las distribuciones probabilísticas Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log – Pearson Tipo III, Log – Normal y EV3, a través de métodos estadísticos convencionales, de acuerdo con (Monsalve Saénz, 1999), (Ponce, 1989), (Hjelmfelt & Cass¡dy, 1976), (Chow, Handbook of Applied Hydrolgy, 1984) y (Chow, Maidment, & Mays, Applied Hydrology, 1988) y los resultados de esta variable hidrológica, relacionada a diferentes períodos de retorno, se presentan en la Tabla 6-4 y en la Figura 6-1. Adicionalmente, para cada distribución probabilística se aplicó la prueba Chi – cuadrado, encontrándose que la distribución EV3 es la que mejor los ajusta, por lo cual los datos obtenidos a través de esta distribución fueron los seleccionados.

Tabla 6-4. Rio Bogotá - Puente La Virgen Frecuencias de Caudales Máximos Anuales

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
años	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
2	30.42	27.84	25.36	25.10	26.45	25.18
2.5	34.79	32.74	29.18	28.07	30.23	29.07
3.33	39.46	38.50	34.05	32.01	34.88	34.05
5	44.96	46.05	40.90	37.99	41.27	41.08
10	52.56	58.11	52.61	49.68	52.09	53.01
20	58.85	69.68	64.42	63.82	63.13	64.89
50	65.91	84.65	80.26	87.45	78.38	80.54
100	70.62	95.87	92.44	110.13	90.53	92.33
chi 2	292.54	69.39	14.07	13.85	18.42	13.56

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-1. Rio Bogotá - Puente La Virgen Frecuencias de Caudales Máximos Anuales



Fuente: Elaboración Propia

6.1.3.2 Trasposición de Caudales a los Puntos de Descarga

Debido a que las estaciones no se encuentran exactamente en los puntos de descarga se aplicará la trasposición de caudales de la estación a los puntos de descarga por medio de la relación cuadrada de las áreas. Este tipo de metodologías son comúnmente empleadas en el país para hallar caudales, y son aplicables mientras que la diferencia entre las áreas no sea mayor al 50% del área hasta la estación. A continuación se presenta la ecuación empleada.

$$Q_{SP} = Q_{Est} \frac{\sqrt{A_{SP}}}{\sqrt{A_{Est}}}$$

En donde:
Qsp: Caudal Sitio de Proyecto, m³/s.
Qest: Caudal Estación, m³/s
Asp: Área del hoya hidrográfica hasta el sitio de proyecto, km².
Aest: Área del hoya hidrográfica hasta la estación, km².

Con el fin de hallar los caudales hasta los puntos de descarga se trazaron las áreas para cada uno de éstos, y se encontró que el área del punto de descarga 2 coincide con el área de la estación Puente La Virgen (se tomó el área de la estación operada por la EAB). En la Tabla 6-5 se presentan las diferentes áreas y el factor de relación de la raíz cuadrada de las áreas.

Tabla 6-5. Áreas Hasta Puntos de Descarga y Estación

Punto	Área (km²)	Factor de Relación
Punto Descarga 1	2276.2400	1.0002
Punto Descarga 2	2275.4198	1.0000
Punto Descarga 3	2260.2327	0.9967
Estación EAB	2275.4198	1.0000

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados de la Tabla 6-5 y los resultados de los caudales obtenidos para la estación en estudio se obtuvieron los caudales para los diferentes puntos de descarga que se tienen, el resultado de esto se presenta en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6. Caudales Puntos de Descarga Sanitaria

Punto	Coeficiente de Relación	Caudal para Diferentes Periodos de Retorno (m³/s)					
		T=2 Años	T=5 Años	T=10 Años	T=20 Años	T=50 Años	T=100 Años
Punto Descarga 1	1.0002	25.18	41.09	53.02	64.91	80.55	92.35
Punto Descarga 2	1.0000	25.18	41.08	53.01	64.89	80.54	92.33
Punto Descarga 3	0.9967	25.09	40.94	52.84	64.68	80.27	92.02
Estación EAB	1.0000	25.18	41.08	53.01	64.89	80.54	92.33

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados obtenidos y dada la cercanía entre los puntos de descarga y la estación Puente La Virgen se encuentra que los caudales no tienen una variación notoria y si se deseara pueden tomar los caudales calculados para la estación como ciertos para todos los puntos de descarga.

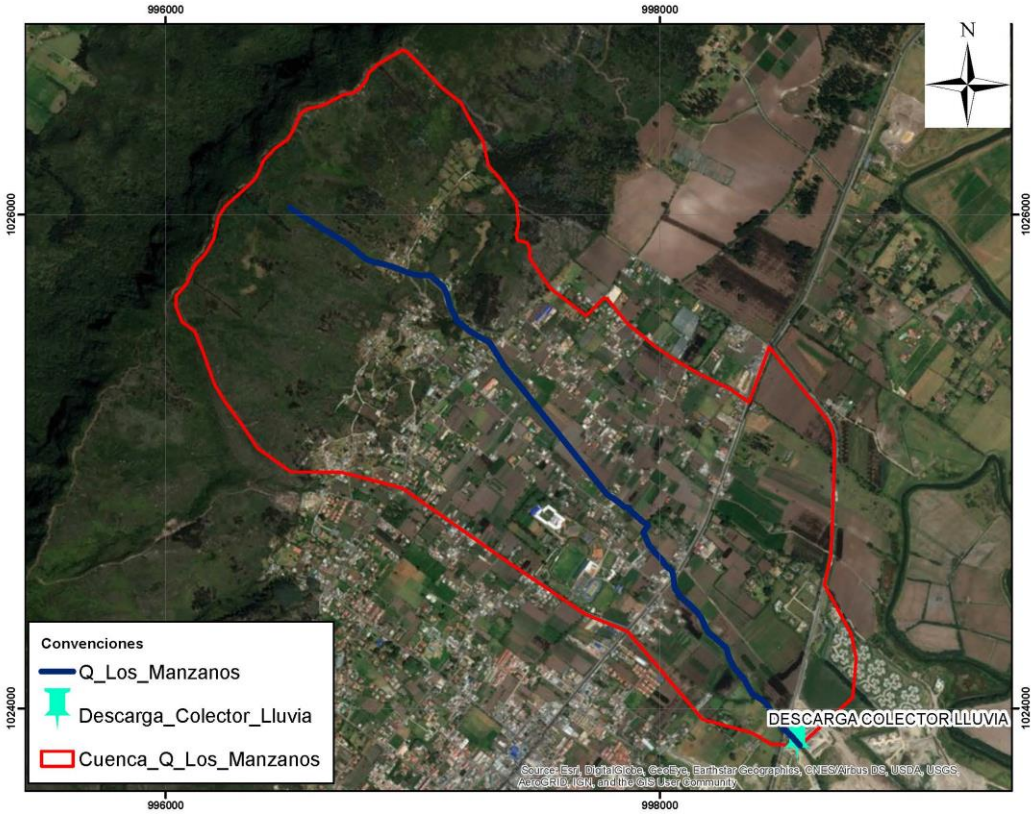
6.2 QUEBRADA LOS MANZANOS

Uno de los factores que influyen e inciden sobre la magnitud y duración de algunos efectos ambientales, lo constituyen las características climáticas y las condiciones hidrológicas existentes en el área de influencia del proyecto, con especial énfasis en la determinación cuantitativa del agua superficial producida por la corriente de agua que cruza el puente proyectado. El presente informe busca entonces, describir la zona objeto del estudio, en su hidrología de la quebrada Manzanos aguas abajo del sitio de cruce de la corriente con la Variante Cota.

6.2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El sitio de proyecto se encuentra ubicado sobra la quebrada Manzanos, en el departamento de Cundinamarca, más específicamente en el municipio de Cota. En la Imagen 6-4 y en el Plano No. 1 se presenta la localización del sitio donde se proyecta la descarga del colector de aguas lluvias del municipio de Cota el cual es el objeto de estudio.

Imagen 6-4Localización Sitio de Descarga Colector Aguas Lluvias



Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 CARACTERIZACIÓN OROGRÁFICA E HIDROGRÁFICA DEL PROYECTO

El sitio de estudio como se ha mencionado con anterioridad, se encuentra en el departamento de Cundinamarca y se ubica sobre la quebrada Manzanos, teniendo un área de drenaje igual a 3.58 km². La zona de proyecto se encuentra localizada en terrenos ondulados a planos; la hidrografía de la zona se presenta en el Plano No. 1.

6.2.3 METODOLOGÍA

En primer término, los estudios hidrológicos se dirigieron a definir las principales características climatológicas de la zona, a nivel mensual multianual, tales como precipitación total mensual y precipitación máxima en 24 horas, para suministrar información al Contratista de las obras sobre las condiciones climáticas que puede hallar en la zona del proyecto.

Adicionalmente, se encaminaron a determinar caudales en la corriente de agua identificable en restituciones aerofotogramétricas en escala 1:10000, con el fin de calcular caudales de diseño en el sitio de proyecto sobre la quebrada Manzanos.

Con base en las restituciones aerofotogramétricas del IGAC existentes para la zona, se determinaron las principales características geométricas de la hoya hidrográfica, las cuales fueron complementadas a través de visitas a campo para definir las características morfológicas de la referida cuenca, que sirvieron para determinar, entre otros, la respuesta a eventos de precipitación extrema en términos de escorrentía superficial. Se definieron para esto características desde el punto de vista de suelo, vegetación, etc.

Se calcularon las características del aguacero de diseño. Se escogieron registros históricos de las estaciones registradoras de lluvia lo más cercanas posible al tramo de carretera objeto de análisis, y que representaran condiciones de aguaceros típicas en la hoya hidrográfica. Para los aguaceros se definió, entonces, la lluvia precipitada asociada a un período de retorno específico.

Se determinó el área de drenaje de planos topográficos; los coeficientes de escorrentía se definieron apropiadamente de caracterizaciones de campo y estudios elaborados por otros, y las intensidades de precipitación de lluvias, como se mencionó con anterioridad, se calcularon lo más típicas posibles de las zonas del proyecto.

Para el sitio de proyecto se encontró que el área de drenaje, es mayor a 2.5 km², por lo cual se utilizó la metodología del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, al cual se les aplicó la lluvia efectiva de diseño.

6.2.4 CARTOGRAFÍA

Como se mencionó anteriormente, el estudio se realizó con información secundaria recopilada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. La información secundaria obtenida se relaciona en el Tabla 6-7 .

Tabla 6-7. Restituciones Aerofotogramétricas Utilizadas

PLANCHA	FECHA DE TOMA	ESCALA
227-II-D-2	2011	1:10000
227-II-D-4	2011	1:10000

Fuente: Elaboración Propia

6.2.5 ANÁLISIS DE LLUVIAS

Para el análisis climático de la zona de estudio y el área de drenaje aferente a ésta, se recopiló la información de la zona en la Corporación Autónoma Regional, CAR y Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. En el Tabla 6-1 y en la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.** se presenta el nombre, tipo y código de cada una de las estaciones representativas para este sector y sus características de localización, para las estaciones, medidoras de parámetros climatológicos, que se utilizaron para identificar

la zona del proyecto. En el Plano No. 1 se presenta la ubicación de las estaciones geográficamente.

Tabla 6-8. Estaciones Empleadas en la Caracterización Climatológica

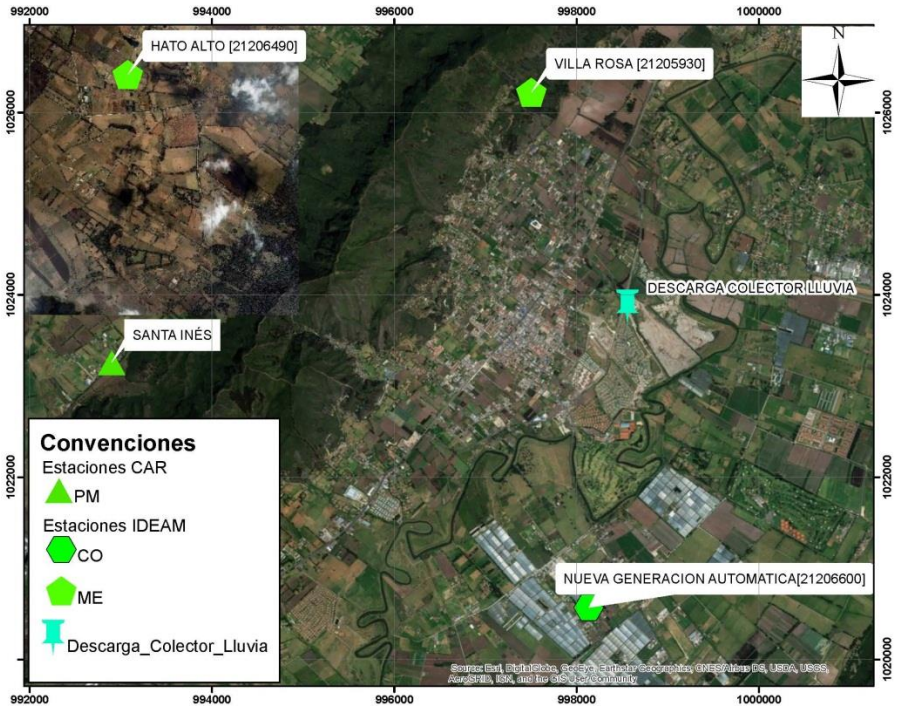
Cuadro No. 1 - ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA ZONA DE PROYECTO

ENTIDAD	CODIGO	ESTADO	TE	NOMBRE DE ESTACION	CORRIENTE	DPTO.	MUNICIPIO	COORD PLANAS	
								X(Este)	Y(Norte)
CAR	2120136	ACT	PM	STA INES	R. CHICU	CUNDINAMARCA	TENJO	992898	1023259
IDEAM	2120593	SUS	ME	VILLA ROSA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	COTA	997505	1026223
IDEAM	2120649	ACT	ME	HATO ALTO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TENJO	993077	1026416
IDEAM	2120660	ACT	CO	NUEVA GENERACION AUTOMATICA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	998133	1020571
	Nota:		CO	Climatológica Ordinaria					
			PM	Pluviométrica					
			ME	Metereológica Especial					

Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar que esta Consultoría adopto la estación pluviométrica Santa Inés como representativa para la zona de proyecto, esto debido a que las demás estaciones presentadas en la Tabla 6-1 cuentan con pocos años de registro o se encuentran suspendidas, por esta razón la estación pluviométrica Santa Inés es la adoptada como representativa ya que cuenta con un período de registro de suficiente longitud para poder tener una buena confiabilidad en los datos climatológicos resultantes.

Imagen 6-5 Localización Geográfica Estaciones Medidoras de precipitación



Fuente: Elaboración Propia

6.2.6 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL

Como fue mencionado anteriormente, la estación pluviométrica Santa Inés fue escogida como representativa en el sitio de proyecto, por lo cual, en primera instancia, la definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro de precipitación se ha basado en los datos presentados en el Tabla 6-9, para la estación medidora de precipitación, Sta Ines, representativa con datos funcionales de este parámetro para el área de proyecto. Los datos en que se basa esta información fueron suministrados por la CAR, y se muestran en el Anexo No. 1.

Tabla 6-9. Precipitación Media Mensual y Anual Multianual Estación Medidora de Precipitación

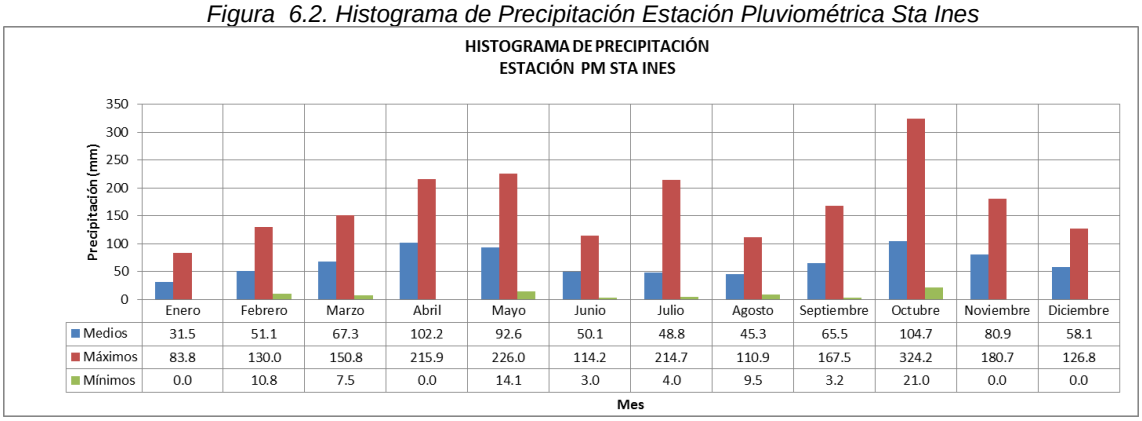
PM Sta Ines (mm)			
Mes	Medios	Máximos	Mínimos
Enero	31.5	83.8	0.0
Febrero	51.1	130.0	10.8
Marzo	67.3	150.8	7.5
Abril	102.2	215.9	0.0
Mayo	92.6	226.0	14.1
Junio	50.1	114.2	3.0
Julio	48.8	214.7	4.0
Agosto	45.3	110.9	9.5
Septiembre	65.5	167.5	3.2
Octubre	104.7	324.2	21.0

	PM Sta Ines (mm)		
Mes	Medios	Máximos	Mínimos
Noviembre	80.9	180.7	0.0
Diciembre	58.1	126.8	0.0
Anual	798.1	324.2	0.0

Fuente: Elaboración Propia

Para la estación Sta Inés, la precipitación total anual a nivel multianual es en promedio igual a 798.1 mm y varía entre un mínimo de 31.5 mm para el mes de enero y un máximo de 104.7 mm para el mes de octubre. El régimen de precipitación presenta una distribución bimodal a lo largo del año. El periodo lluvioso se extiende durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, mientras la época de estiaje ocurre durante los demás meses del año. Esto se muestra en la Figura 6.2.

Figura 6.2. Histograma de Precipitación Estación Pluviométrica Sta Ines



	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Medios	31.5	51.1	67.3	102.2	92.6	50.1	48.8	45.3	65.5	104.7	80.9	58.1
Máximos	83.8	130.0	150.8	215.9	226.0	114.2	214.7	110.9	167.5	324.2	180.7	126.8
Mínimos	0.0	10.8	7.5	0.0	14.1	3.0	4.0	9.5	3.2	21.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración Propia

6.2.7 ANÁLISIS DE CAUDALES

6.2.7.1 INTRODUCCIÓN

La escorrentía superficial fluye hacia la corriente de estudio en terrenos planos. El análisis de caudales se realizó teniendo en cuenta los registros históricos de la estación pluviométrica Santa Inés. Se tomó esta estación ya que es la más cercana a la zona de proyecto y totalmente representativa del área de proyecto.

6.2.7.2 CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

De acuerdo con (Vargas M & Diaz-Granados, 1998) y a falta de datos históricos de lluvias para pluviógrafos en el área de proyecto, se calcularon las curvas intensidad - duración - frecuencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

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

En donde:

I: Intensidad de Precipitación, mm/h.
T: Periodo de retorno, años.
t: Duración de la lluvia, horas.
M: Promedio de la Precipitación máxima anual en 24 horas, mm.
a,b,c,d: Parámetros propios de la ecuación.

La zona de proyecto se encuentra en la Región 4 definida por la (Vargas M & Diaz-Granados, 1998) cuyos parámetros a, b, c, d, f y g son iguales respectivamente a 0.94, 0.18, 0.66 y 0.83.

De esta manera, la ecuación anterior queda:

$$\boldsymbol{I = 0.94 * \frac{T^{0.18}}{t^{0.66}} * M^{0.83}}$$

Adicionalmente, teniendo en consideración los datos históricos a nivel promedio anual multianual en la estación previamente elegida como representativa (estación Sta Ines), se ha calculado un valor promedio de la Precipitación máxima anual en 24 horas igual a 49.64 mm. Los valores del registro histórico a nivel anual multianual para la estación escogida como representativa se presentan en el Tabla 6-10.

Tabla 6-10. Estación Medidora de Precipitación – Datos Históricos de Precipitación Máxima en 24 Horas

Año	PM Santa Ines (mm)
1980	59.0
1981	43.0
1982	33.0
1983	-
1984	-
1985	-
1986	-
1987	70.0
1988	45.0
1989	-
1990	-
1991	53.0
1992	29.0
1993	35.0
1994	123.0
1995	Rechazado
1996	Rechazado
1997	31.0
1998	39.0
1999	35.0
2000	47.0
2001	45.0
2002	48.0

Año	PM Santa Ines (mm)
2003	Rechazado
2004	38.0
2005	65.0
2006	Rechazado
2007	47.0
2008	Rechazado
2009	Rechazado
2010	68.0
2011	43.0
2012	48.0
2013	48.0
2014	Rechazado

Número de Datos	22.0
Media	49.6
Desviación Típica	19.9
Coeficiente de Asimetría	2.5

Fuente: Elaboración Propia

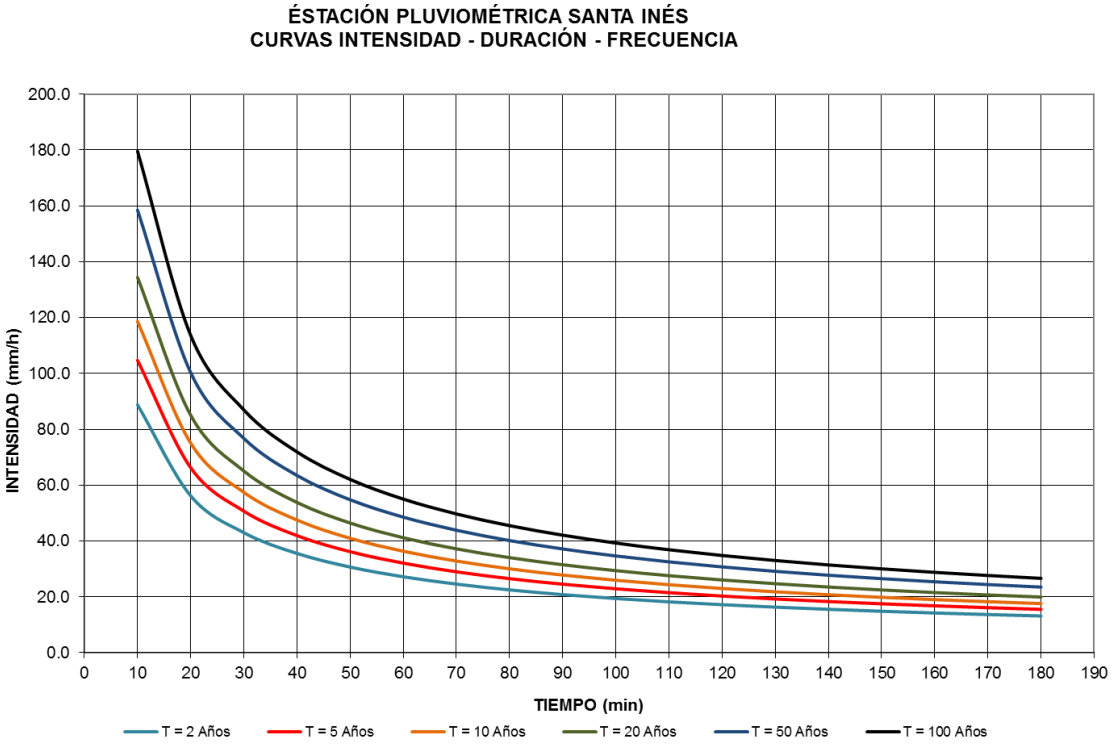
Con los valores presentados en el Tabla 6-10 y de acuerdo a (Vargas M & Diaz-Granados, 1998), se ha procedió al cálculo de las curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF), las cuales se presentan en el Tabla 6-11 y en la Figura 6.3.

Tabla 6-11. Estación Sta Inés – Curva de Intensidad Duración Frecuencia

Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	5	10	20	50	100
10	88.8	104.7	118.6	134.4	158.5	179.6
20	56.2	66.3	75.1	85.1	100.3	113.6
30	43.0	50.7	57.5	65.1	76.8	87.0
40	35.6	41.9	47.5	53.8	63.5	71.9
50	30.7	36.2	41.0	46.5	54.8	62.1
60	27.2	32.1	36.4	41.2	48.6	55.0
70	24.6	29.0	32.8	37.2	43.9	49.7
80	22.5	26.5	30.1	34.1	40.2	45.5
90	20.8	24.6	27.8	31.5	37.2	42.1
100	19.4	22.9	26.0	29.4	34.7	39.3
110	18.2	21.5	24.4	27.6	32.6	36.9
120	17.2	20.3	23.0	26.1	30.7	34.8
130	16.3	19.3	21.8	24.7	29.2	33.0
140	15.6	18.3	20.8	23.5	27.8	31.5
150	14.9	17.5	19.9	22.5	26.5	30.1
160	14.2	16.8	19.0	21.6	25.4	28.8
170	13.7	16.1	18.3	20.7	24.4	27.7
180	13.2	15.5	17.6	19.9	23.5	26.7

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6.3. Estación Sta Inés – Curva de Intensidad Duración Frecuencia



Fuente: Elaboración Propia

6.2.7.3 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

6.2.7.3.1 INTRODUCCIÓN

En primer término, estos cálculos se han concentrado en la hoya hidrográfica de la zona de proyecto la cual tiene un área de drenaje mayor a 2.5 km², debido a que no se contó con datos históricos de caudales máximos instantáneos, es necesario la implementación de métodos indirectos para hallar los caudales máximos sobre la corriente de estudio. Para ello, se utilizó la metodología del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, al cual se le aplicó la lluvia efectiva de diseño.

Los lineamientos básicos de las teorías de este hidrograma unitario de escorrentía superficial se explican pormenorizadamente en (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), (Hjelmfelt & Cassidy, 1976), (Monsalve Sáenz, 1995), (Ponce, 1989) y (Remeneiras, 1974). Tanto estos hidrogramas como los de creciente de escorrentía superficial para diferentes periodos de retorno fueron calculados con base en el programa de computador

HEC-HMS, de acuerdo con (U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2008).

6.2.7.3.2 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DEL SOIL CONSERVATION SERVICE

A. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

El valor de la intensidad de lluvia depende del tiempo de concentración de ésta, de la frecuencia del aguacero de diseño con el cual se diseñen las obras que transportarán la escorrentía superficial, y de la Precipitación misma caída durante el mencionado aguacero.

Las curvas intensidad – duración - frecuencia fueron deducidas para estos estudios y presentadas previamente en este informe, y sus resultados se presentan en el Tabla 6-11 y en la Figura 6.3.

B. Áreas de Drenaje

El área de drenaje o tributaria corresponde al área en proyección horizontal aferente al sitio de proyecto, y se expresará en kilómetros cuadrados.

La hoya hidrográfica de la quebrada Manzanos se obtuvo a partir de las restituciones del IGAC obtenidas y se adecuó a la información oficial de estas restituciones. Finalmente la hoya hidrográfica obtenida se presenta en el Plano No. 1.

C. Tiempo de Concentración

Cuando se utiliza la metodología del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service, se debe suponer que el caudal máximo ocasionado por una determinada intensidad del aguacero de diseño sobre un área de drenaje específica, es producido por el referido aguacero, el cual se prolonga durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración del flujo en el punto bajo consideración. Técnicamente, se define este último como el tiempo de concentración, Tc, el cual es el tiempo requerido para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje.

De acuerdo con (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), (Hjelmfelt & Cassidy, 1976), (Monsalve Sáenz, 1995), (Ponce, 1989) y (Remeneiras, 1974), para el tiempo de concentración, Tc, se ha analizado la siguiente fórmula:

- ✓ **Fórmula de Kirpich**

$$T_C = 3.9780 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

En donde:

T_C: Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, en min.
L: Longitud del cauce principal, en km.
S: Pendiente total del cauce principal, igual a la caída total entre la longitud del cauce principal, en m/m.

En el Tabla 6-12 se presentan sus valores. Sin embargo, y en caso de presentarse valores menores a 15 min en el valor del tiempo de concentración, se ha tomado este último valor, de acuerdo con (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), para tener en consideración el tiempo mínimo que tarda la lluvia en concentrarse inicialmente, el cual no tiene en cuenta el tamaño ni pendiente de la hoya.

Tabla 6-12. Tiempo de Concentración

Área Cuenca (km²)	Longitud del Cauce (km)	Pendiente del Cauce S (m/m)	Tiempo de Concentración (min)	
			Kirpich (min)	Seleccionado (min)
3.58	3.15	0.0374	34.07	34.07

Fuente: Elaboración Propia

D. Hietogramas de los Aguaceros Puntuales

Con base en los datos del Tabla 6-11 y en la Figura 6.3, se calcularon las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 min y periodos de retorno entre 2 y 100 años, las cuales se presentan en el Tabla 6-13.

Tabla 6-13. Curva de Masas de los Aguaceros Puntuales – Estación Sta Ines (Valores en mm)

Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	5	10	20	50	100
10	14.8	17.5	19.8	22.4	26.4	29.9
20	18.7	22.1	25.0	28.4	33.4	37.9
30	21.5	25.4	28.7	32.5	38.4	43.5
40	23.7	28.0	31.7	35.9	42.3	47.9
50	25.6	30.2	34.2	38.7	45.7	51.7
60	27.2	32.1	36.4	41.2	48.6	55.0
70	28.7	33.8	38.3	43.4	51.2	58.0
80	30.0	35.4	40.1	45.4	53.6	60.7
90	31.2	36.8	41.7	47.3	55.8	63.2
100	32.4	38.2	43.3	49.0	57.8	65.5
110	33.4	39.4	44.7	50.6	59.7	67.6
120	34.4	40.6	46.0	52.1	61.5	69.7
130	35.4	41.7	47.3	53.6	63.2	71.6
140	36.3	42.8	48.5	54.9	64.8	73.4
150	37.2	43.8	49.7	56.3	66.3	75.2
160	38.0	44.8	50.8	57.5	67.8	76.8

Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	5	10	20	50	100
170	38.8	45.7	51.8	58.7	69.2	78.4
180	39.5	46.6	52.8	59.8	70.6	80.0

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, con base en estas curvas de masas se calcularon los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos, los cuales se presentan en el Tabla 6-14.

Tabla 6-14. Incrementos de Lluvias Puntuales de los Hietogramas de Precipitación – Zona de Influencia Estación Sta Ines (Valores en mm)

Intervalo de Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
0-10	14.8	17.5	19.8	22.4	26.4	29.9
10-20	3.9	4.6	5.3	6.0	7.0	8.0
20-30	2.8	3.3	3.7	4.2	4.9	5.6
30-40	2.2	2.6	3.0	3.3	3.9	4.5
40-50	1.9	2.2	2.5	2.8	3.3	3.8
50-60	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3
60-70	1.5	1.7	2.0	2.2	2.6	3.0
70-80	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.7
80-90	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5
90-100	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.3
100-110	1.1	1.3	1.4	1.6	1.9	2.2
110-120	1.0	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0
120-130	1.0	1.1	1.3	1.4	1.7	1.9
130-140	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8
140-150	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7
150-160	0.8	1.0	1.1	1.2	1.5	1.7
160-170	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6
170-180	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5
TOTAL	39.5	46.6	52.8	59.8	70.6	80.0

Fuente: Elaboración Propia

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, mediante el método del Bloque Alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente fueron arreglados de la siguiente manera: el valor más bajo se colocó en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se colocó en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubicó en segundo lugar, el cuarto valor se localizó en el penúltimo lugar, y así sucesivamente. El resultado de estos cálculos se presenta en el Tabla 6-15 y corresponde con los hietogramas de lluvia puntual de los aguaceros de diseño.

Tabla 6-15. Incrementos Arreglados de LIuvias Puntuales de los Hietogramas de Precipitación – Área de Influencia Estación Sta Inés (Valores en mm)

Intervalo de Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
0-10	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5

Intervalo de Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	5	10	20	50	100
10-20	0.8	1.0	1.1	1.2	1.5	1.7
20-30	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8
30-40	1.0	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0
40-50	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.3
50-60	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.7
60-70	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3
70-80	2.2	2.6	3.0	3.3	3.9	4.5
80-90	3.9	4.6	5.3	6.0	7.0	8.0
90-100	14.8	17.5	19.8	22.4	26.4	29.9
100-110	2.8	3.3	3.7	4.2	4.9	5.6
110-120	1.9	2.2	2.5	2.8	3.3	3.8
120-130	1.5	1.7	2.0	2.2	2.6	3.0
130-140	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5
140-150	1.1	1.3	1.4	1.6	1.9	2.2
150-160	1.0	1.1	1.3	1.4	1.7	1.9
160-170	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7
170-180	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6
TOTAL	39.5	46.6	52.8	59.8	70.6	80.0

Fuente: Elaboración Propia

E. Factor de Reducción de la Lluvia Puntual por Área de Drenaje

En general, la Precipitación para una duración determinada (o, en otras palabras, la intensidad promedio) decrece desde el centro de las tormentas, a medida que la distancia se incrementa a partir de este punto. La Precipitación máxima es representativa del centro de las tormentas, por lo cual la Precipitación promedio en la totalidad del área de drenaje deberá ser menor, dependiendo del tamaño y forma de la cuenca, de las tormentas históricas registradas, y de la localización del centro de Precipitación máxima.

El cálculo de la reducción de la Precipitación a medida que se incrementa el área de drenaje se hace por medio de curvas de profundidad – área - duración para duraciones determinadas de la Precipitación. Para cada duración específica de la Precipitación se analizan las tormentas que tengan cubrimiento grande sobre el área de drenaje en consideración, y que sean suficientemente intensas. Posteriormente, se dibujan las isolíneas de Precipitación de cada tormenta, y por medio de éstas se calculan las curvas de profundidad de Precipitación - área de drenaje para cada duración.

La relación entre la profundidad de la Precipitación, relacionada a diferentes áreas de drenaje, y la Precipitación puntual, definida como el factor de reducción, se calcula posteriormente para modificar las curvas anteriores.

Finalmente, se calcula la envolvente de las curvas definidas en el paso anterior para cada duración, la cual define la curva representativa de la relación profundidad de Precipitación - área de drenaje de la cuenca. El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se ha calculado, en primer término, de acuerdo con la ecuación de Fhrüling que expresa:

$$i_m = i_0(1 - 0.0054A^{0.25})$$

En donde:

i_m: Intensidad promedio de lluvia en la hoya hidrográfica, mm/h.

i_0: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.

$(1- 0.0054\ A^{0.25})$: coeficiente de reducción de la lluvia, f(a), por el tamaño del área de drenaje A, estando esta última variable expresada en m^2.

F. Hietogramas de los Aguaceros Espaciales

Los hietogramas de lluvia puntual fueron transformados a hietogramas de lluvia espacial, para tener en cuenta el hecho de la espacialidad de la hoya, y de que la Precipitación promedio en un aguacero en una hoya es menor a medida que aumenta su área de drenaje.

El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se ha calculado, como ya fue mencionado anteriormente, y con el fin de tener un valor más seguro y conservador en relación con este coeficiente, igual al valor promedio resultante entre los valores calculados anteriormente. En el Tabla 6-16 se presenta el hietograma de lluvia espacial para la subcuenca de la hoya hidrográfica de la quebrada Manzanos.

Tabla 6-16. Incrementos Arreglados de Lluvias Espaciales de los Hietogramas de Precipitación – Área de Influencia Sitio de Proyecto (Valores en mm)

Intervalo de Tiempo (min)	Periodo de Retorno (Años)					
	2	5	10	20	50	100
0-10	0.67	0.79	0.90	1.02	1.20	1.36
10-20	0.73	0.86	0.97	1.10	1.30	1.47
20-30	0.80	0.94	1.07	1.21	1.42	1.61
30-40	0.89	1.05	1.18	1.34	1.58	1.79
40-50	1.01	1.19	1.34	1.52	1.79	2.03
50-60	1.18	1.39	1.57	1.78	2.10	2.38
60-70	1.44	1.70	1.93	2.19	2.58	2.92
70-80	1.95	2.30	2.61	2.95	3.48	3.94
80-90	3.47	4.09	4.64	5.25	6.20	7.02
90-100	13.06	15.40	17.45	19.77	23.31	26.41
100-110	2.44	2.88	3.26	3.70	4.36	4.94
110-120	1.65	1.95	2.20	2.50	2.94	3.34
120-130	1.29	1.52	1.73	1.96	2.31	2.61
130-140	1.08	1.28	1.45	1.64	1.93	2.19
140-150	0.94	1.11	1.26	1.42	1.68	1.90
150-160	0.84	0.99	1.12	1.27	1.50	1.70
160-170	0.76	0.90	1.02	1.15	1.36	1.54
170-180	0.70	0.82	0.93	1.06	1.25	1.41
TOTAL	34.9	41.2	46.6	52.8	62.3	70.6

Fuente: Elaboración Propia

G. Método del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service

El hidrograma unitario es un modelo lineal simple que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia, considerada como uniforme en el espacio y variable en el tiempo. Las siguientes suposiciones básicas son inherentes en este modelo:

- ✓ El exceso de Precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva y las tormentas seleccionadas para el análisis deben ser de corta duración.

- ✓ El exceso de Precipitación está uniformemente distribuido en toda el área de drenaje; si ésta es muy grande, debe dividirse en subcuencas analizando tormentas que cubran toda la subárea.

- ✓ El tiempo base de la duración de la escorrentía directa resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante.

- ✓ Las ordenadas de todas las duraciones de escorrentía directa de una base de tiempo común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma.

Como tiempo de duración de la lluvia unitaria, se consideró menor o igual a la quinta parte del tiempo de concentración.

Para una cuenca dada el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca. El hidrograma unitario se considera único para la cuenca dada, e invariable con respecto al tiempo, y es aplicable solamente cuando no se presenten cambios ni almacenamientos apreciables en la cuenca estudiada.

A pesar de que el modelo fue desarrollado originalmente en cuencas grandes, se ha encontrado que puede aplicarse a cuencas pequeñas desde menos de 2.5 hasta 250 km^2 aproximadamente.

Para hallar el caudal máximo originado por la escorrentía directa, se utilizó el hidrograma unitario curvilíneo, cuyo pico está definido la siguiente ecuación:

$$q_p = 0.208\ A\ E / T_p$$

$$T_p = (10/9)\ T_{lag}$$

$$T_{lag} = 0.6\ Tc$$

Siendo:

q_p: Caudal unitario máximo, en (m^3/s)/mm de lluvia.
A: Área de la cuenca considerada, en km^2.
E: Precipitación efectiva unitaria, en mm.
T_p: Tiempo al pico del hidrograma, en horas, medido desde el comienzo.
T_{lag}: Tiempo de retardo en horas, medido entre los centros de gravedad del hietograma de lluvia espacial e hidrograma unitario.
Tc: Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, h.
L: Longitud del cauce, en metros.
S: Pendiente de la ladera de la cuenca, en m/m.

El valor CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con (Monsalve Sáenz, 1995).

La obtención del número de curva CN se realizó mediante imágenes satelitales de la hoya hidrográfica en estudio, a las cuales se les realizó la clasificación de tipos de coberturas que tiene. Se encontró que la zona principalmente se compone de zonas de bosques y pastos.

De acuerdo con las caracterizaciones de campo y la información secundaria, se ha seleccionado desde el punto de vista de la seguridad en relación a los caudales resultantes, un valor de CN igual a 73 para bosques, 77 para pastos y 83 para zona urbanas, correspondientes a un grupo de suelo hidrológico C (consiste de suelos con tasas de infiltración bajas cuando están totalmente húmedos, con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcali o suelos con niveles freáticos moderados; estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50 a 100 cm)), y con condición de humedad antecedente tipo AMC-II (Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración mayor o igual a 52.5 mm).

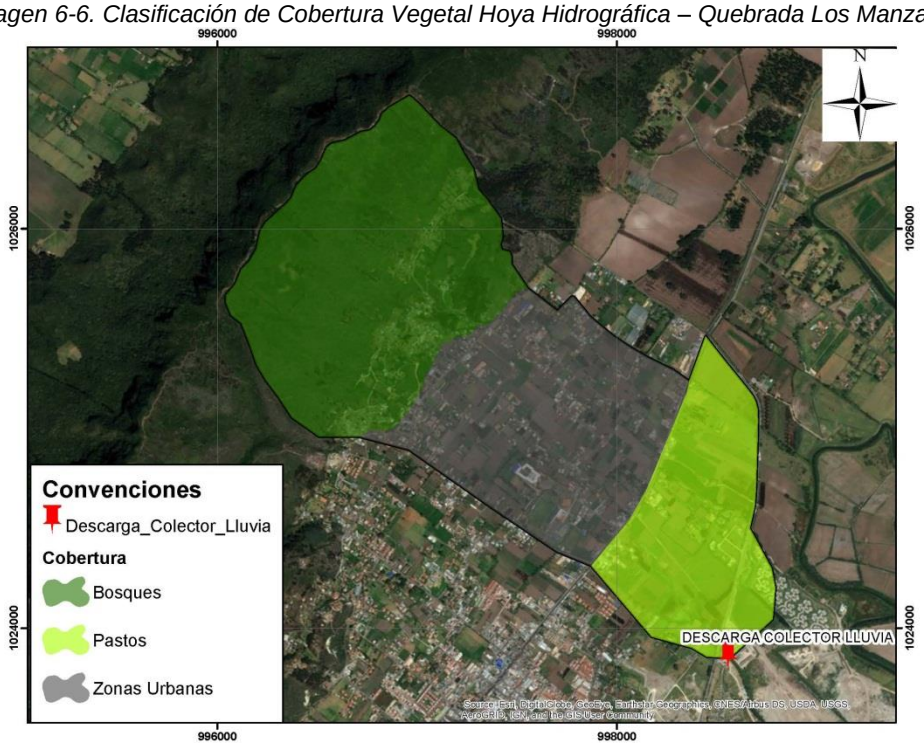
A partir de lo anterior se realizó la ponderación por áreas para hallar el CN equivalente para la hoya hidrográfica en estudio, para realizar esta ponderación se empleó una imagen satelital de Google. En la Tabla 6-17 se presentan los porcentajes de los distintos tipos de cobertura vegetal presente en la cuenca hidrográfica de la quebrada Los Manzanos, en la Imagen 6-6 y en el Plano No. 1 se presenta la clasificación de cobertura vegetal. El resultado del valor de CN ponderado para la hoya corresponde a 78.0.

Tabla 6-17. Valores de CN

Hoya Hidrográfica	Porcentaje de Cobertura (%)			Valor de CN Seleccionado
	Bosques	Pastos	Zonas Urbanas	
	CN 73	CN 77	CN 83	
1	43	23	34	78

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 6-6. Clasificación de Cobertura Vegetal Hoya Hidrográfica – Quebrada Los Manzanos



Fuente: Elaboración Propia

Con base en este valor de CN, la longitud del cauce principal y la pendiente de la cuenca, se ha calculado el tiempo de desfase t_{lag}, de la hoya hidrográfica estudiada en el presente informe.

La distribución temporal del hietograma de lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de las siguientes relaciones empíricas:

$$Q = \frac{(P - 0.20S)^2}{P - 0.80S}$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

Donde:

Q: Escorrentía total acumulada, pulgadas
P: Precipitación total del evento, pulgadas.
S: Infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.
CN: Curva número.

H. Modelo Hidrológico HEC-HMS

El cálculo del hidrograma total se realizó considerando el hidrograma unitario afectado por la escorrentía directa o Precipitación efectiva en cada duración unitaria del hietograma, el cual se va desplazando tal duración. El hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas unitarios para cada valor constante de tiempo. Para el presente estudio no se adicionó el caudal base, dado que no se posee información para su obtención y que su porcentaje es mínimo en relación al caudal pico. Para ello, se usó el modelo de computador HEC-HMS, considerando (U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2008).

A continuación se presenta una descripción teórica del modelo de computador HEC-HMS:

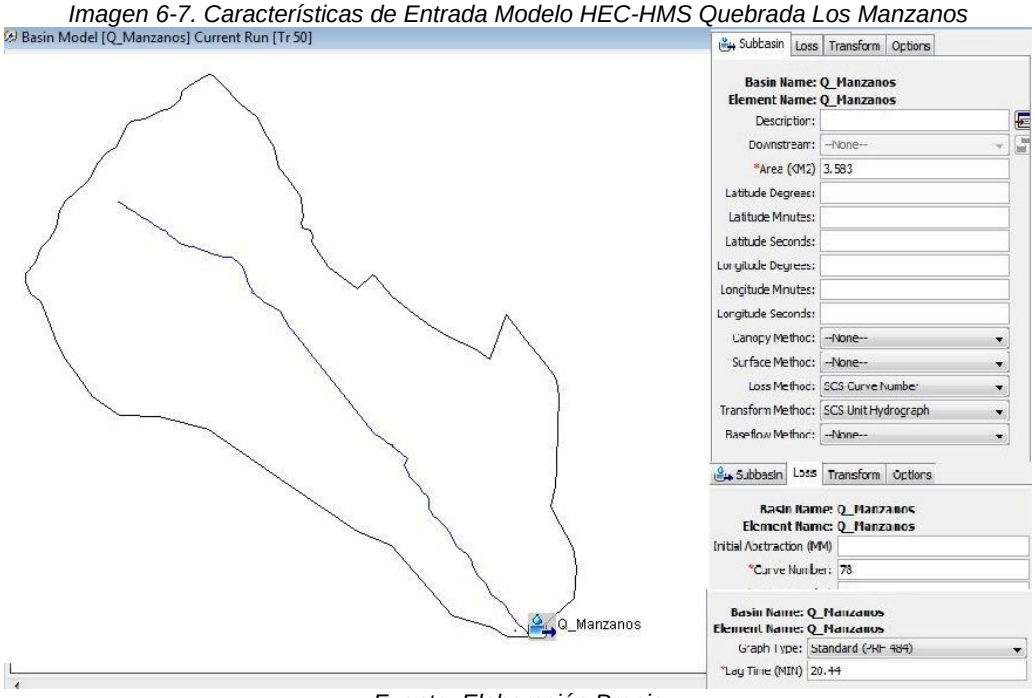
1. Descripción Modelo Hidrológico HEC-HMS

Para los trabajos particulares relacionados con estos estudios, se utilizó la versión más reciente de este modelo hidrológico HEC-HMS 4.1.

2. Variables de Entrada al Modelo

En primera instancia se tomó la hoya hidrográfica y sus características propias halladas anteriormente, tales como el área, el tiempo de desfase (t_{lag}) y el CN propio de la subcuenca de la hoya hidrográfica de la quebrada Manzanos. En la Imagen 6-7 se presentan las características introducidas en el Modelo HEC-HMS para la quebrada Los Manzanos.

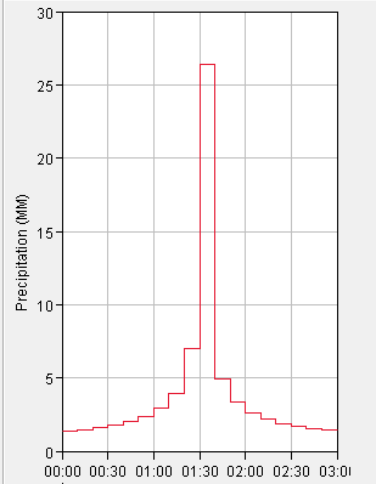
Imagen 6-7. Características de Entrada Modelo HEC-HMS Quebrada Los Manzanos



Fuente: Elaboración Propia

Como siguiente paso se incluyeron los hietogramas para el periodo de retorno de diseño del puente proyectado equivalente a 100 años al modelo HEC-HMS, los cuales representan la lluvia de diseño. En la Imagen 6-8 se presenta el hietograma la Lluvia espacial de la Subcuenca de la hoya hidrográfica de la quebrada Manzanos correspondiente a 100 años de periodo de retorno a manera de ejemplo.

Imagen 6-8. Hietograma de la Lluvia Espacial de la Subcuenca de la Hoya Hidrográfica de la Quebrada Manzanos para un Periodo de Retorno de 100 Años



Fuente: Elaboración Propia

Por último se definió el uso de las respectivas lluvias en el modelo meteorológico para la hoya hidrográfica en estudio y el control para el tiempo de simulación.

3. Resultados Obtenidos de Modelo HEC-HMS

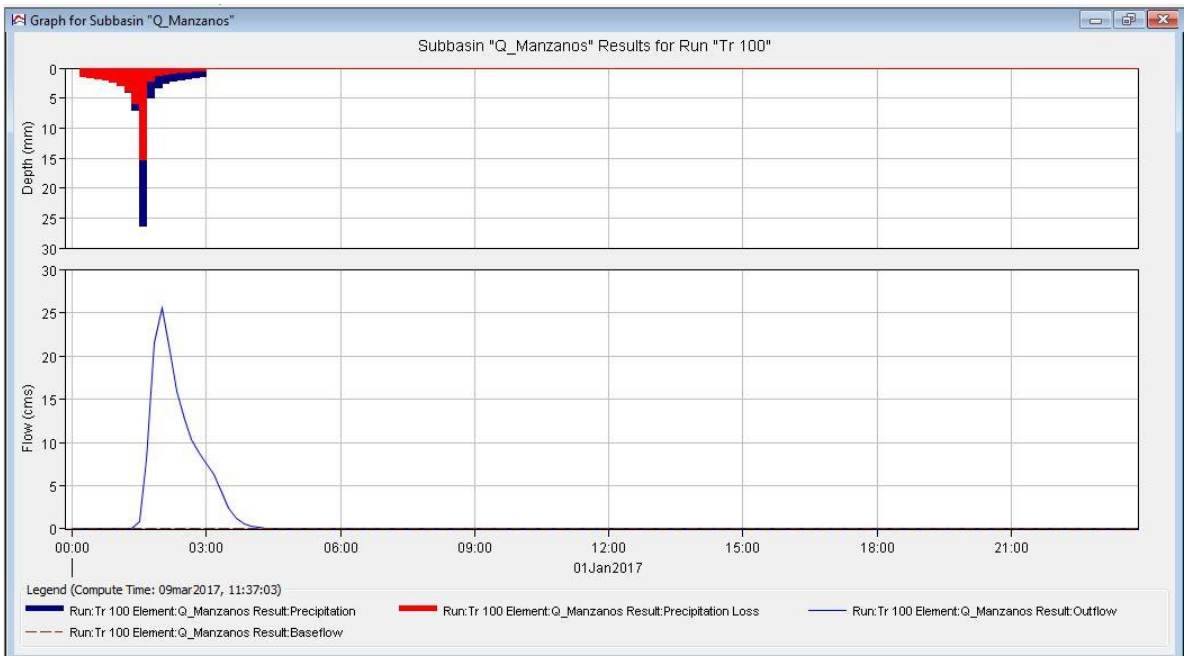
A partir de los datos de entrada y las condiciones puestas para la simulación se obtuvieron los caudales y los hidrogramas de crecientes para los diferentes periodos de retorno simulados. En la Imagen 6-9 se presenta el hidrograma de creciente obtenido para un periodo de retorno de 100 años para la quebrada Manzanos, mientras que en el Tabla 6-18 se presentan los caudales máximos instantáneos para distintos periodos de retorno para la corriente en estudio. En el Anexo No. 2 se presenta en archivo magnético la modelación en HEC-HMS.

Tabla 6-18. Caudales Máximos Instantáneos

ÁREA (km²)	LONGITUD DEL CAUCE (km)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SELECCIONADO (min)	T_{LAG} (min)	CN	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL ADOPTADO	CAUDAL (m^3/s)					
							T= 2 Años	T= 5 Años	T= 10 Años	T= 20 Años	T= 50 Años	T= 100 Años
3.58	3.15	34.07	20.44	78.0	0.765	0.88	3.71	6.53	9.45	13.16	19.49	25.52

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 6-9. Histograma de Crecientes para un Periodo de Retorno de 100 Años Quebrada Manzanos en el Sitio de Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

6.2.8 JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS

6.2.8.1 CURVA DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA

La metodología para la deducción de las curvas intensidad - duración - frecuencia, se explica con todo detalle en (Vargas M & Diaz-Granados, 1998).

6.2.8.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración utilizado para la determinación de la intensidad de lluvias promedio sobre la hoya respectiva, se calculó mediante Kirpich, la cual se presenta con todo detalle en el informe. Se seleccionó, desde el punto de vista de la seguridad para el método del Hidrograma Unitario, el tiempo de concentración proveniente de Kirpich no menor a 15 minutos.

6.2.8.3 MODELO COMPUTADOR HEC-HMS

Se utilizó para la estimación de los hidrogramas de creciente en las hoyas hidrográficas aferentes a la zona de proyecto cuyos límites topográficos pudieran ser estimados por medio de las restituciones aerofotogramétricas disponibles. Es, quizás, uno de los modelos de computador para estimación de hidrogramas de creciente en hoyas hidrográficas por su gran versatilidad. En el informe se explican con todo detalle las características más importantes de este modelo.

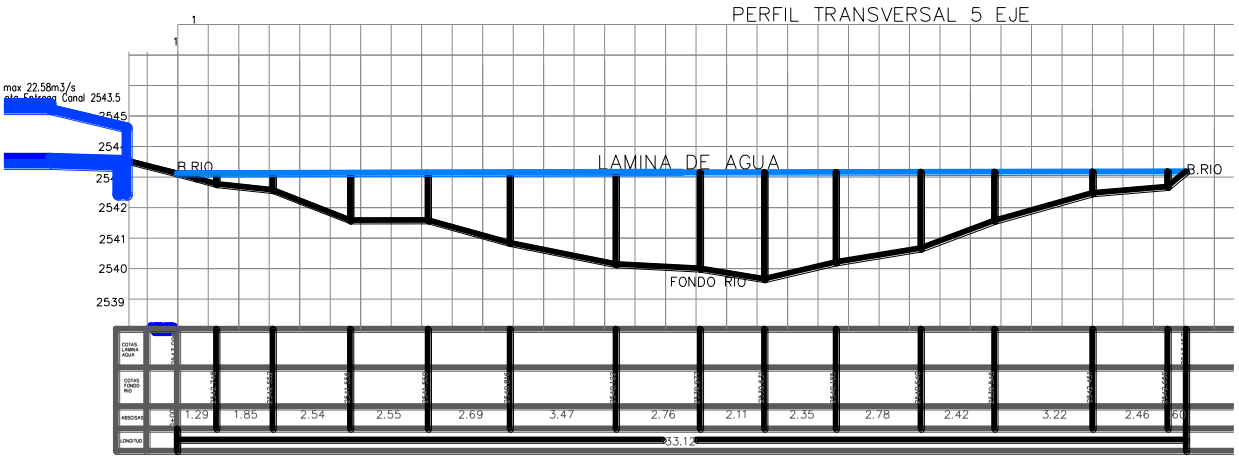
6.2.9 APLICACIÓN DE TEORÍAS Y MÉTODOS DE PREDICCIÓN

Los métodos de predicción de crecientes y de caudales máximos instantáneos en corrientes de aguas están basados en la disponibilidad de los datos hidrológicos. Para todas las hoyas en estudio se utilizó la metodología del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, a los cuales se les aplicó la lluvia efectiva de diseño.

CAPÍTULO 7. MODELACIÓN HIDRÁULICA RIO BOGOTÁ

Para la modelación hidráulica del rio Bogotá se toma cómo sección de control la levantada en batimetría frente al punto proyectado para la descarga de aguas lluvias

Figura 7-1 Sección Transversal Rio Bogotá, a la altura del Punto 1.



Realizando una segunda campaña de batimetría en una sección a 1.14Km aguas abajo del punto proyectado para la descarga, se obtiene una pendiente media del cauce en la zona de descarga de: 0.000503 m/m.

Se asume una rugosidad del canal en términos de n manning: 0.030, para corriente naturales, de acuerdo VEN T. CHOW, HIDRÁULICA DE CANALES, Tabla 5.6.

Aplicando los parámetros de entrada obtenidos, y realizando un análisis de flujo uniforme se obtienen los siguientes resultados:

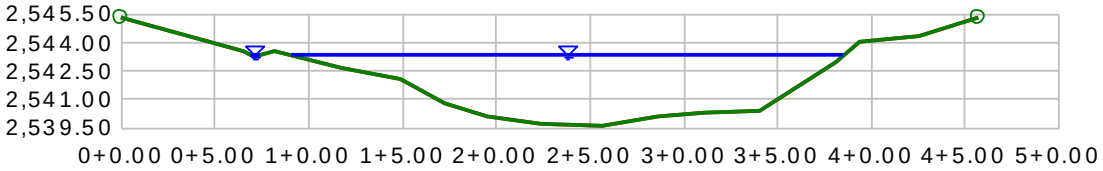
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Mannings Coefficient	0.03	
Slope	0.0509	%
Water Surface Elevation	2,543.33	m
Elevation Range	2,539.55 to 2,545.25	
Discharge	92.33	m^3/s
Flow Area	71.4	m^2
Wetted Perimeter	31.63	m
Top Width	30.04	m

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Actual Depth	3.78	m
Critical Elevation	2,541.46	m
Critical Slope	0.8448	%
Velocity	1.29	m/s
Velocity Head	0.09	m
Specific Energy	2,543.41	m
Froude Number	0.27	
Flow Type	Subcritical	

A continuación, se presenta gráficamente el resultado de la modelación hidráulica, sobre la sección de control:

Project Description	
Worksheet	Irregular Channel - 2
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Channel Depth

Section Data		
Mannings Coefficient	0.030	
Slope	0.0509	%
Water Surface Elevation	2,543.33	m
Elevation Range	2,539.55 to 2,545.25	
Discharge	92.3300	m³/s

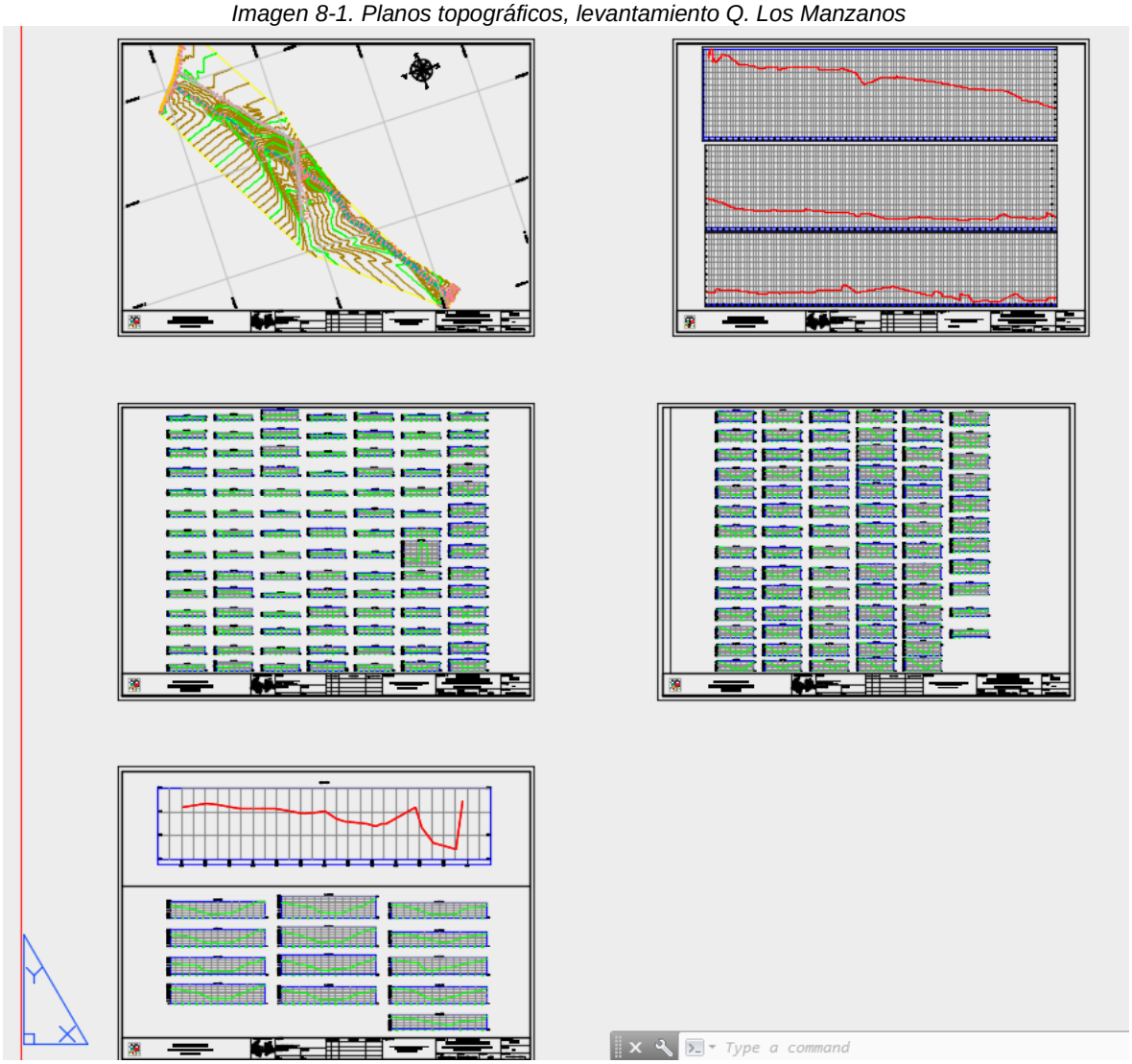


Del análisis realizado, se tiene cómo conclusión que para el tiempo de retorno de 100 años, la sección hidráulica de esta zona del rio Bogotá, tendría una cota de lámina de agua de 2543.33, lo cual no supera los niveles del terreno en la ronda del río.

CAPÍTULO 8. MODELACIÓN HIDRÁULICA Q LOS MANZANOS

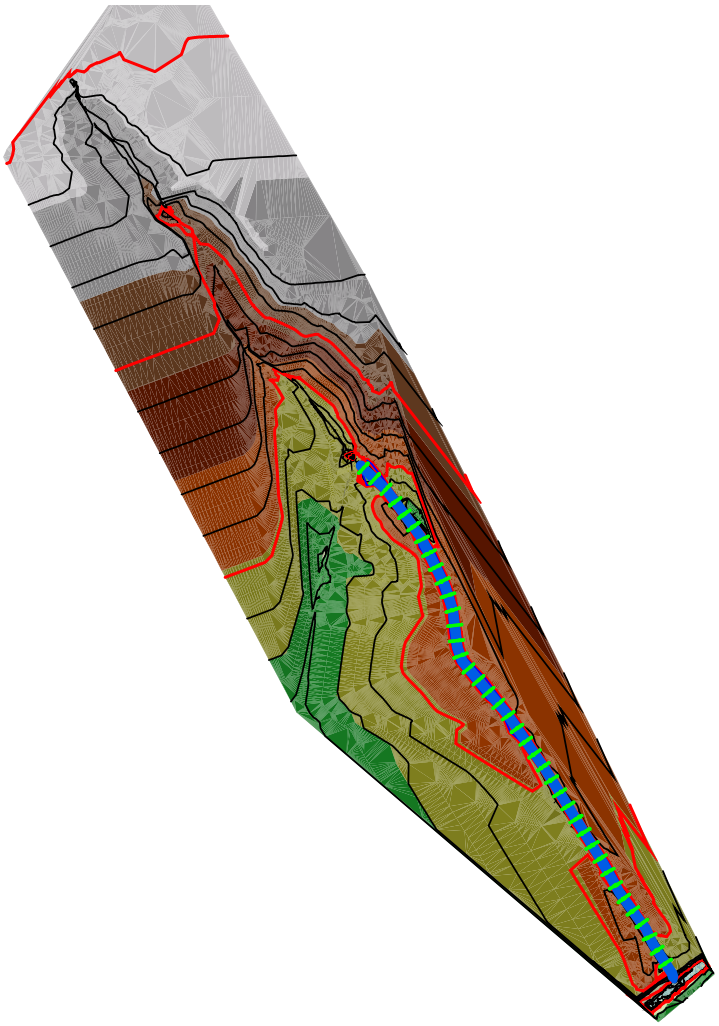
Para la modelación hidráulica de la Quebrada Los Manzanos se toma cómo información base el levantamiento topográfico detallado realizado a toda la zona de la Quebrada, desde la carrera 5 hasta la descarga en el río Bogotá, con secciones cada 10 metros

Imagen 8-1. Planos topográficos, levantamiento Q. Los Manzanos



La información se procesa realizando un Modelo Digital de Terreno en el software ARCGIS.

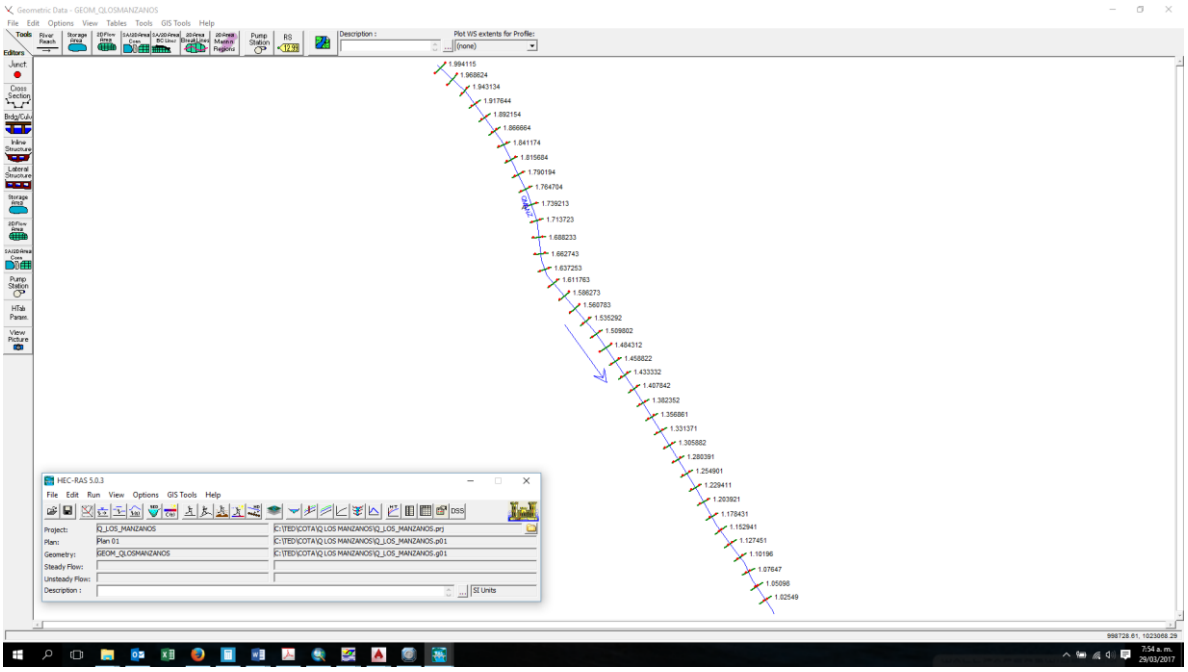
Imagen 8-2. Modelo Digital de Terreno Q. Los Manzanos



Se asume una rugosidad del canal en términos de n manning: 0.030, para corriente naturales, de acuerdo VEN T. CHOW, HIDRÁULICA DE CANALES, Tabla 5.6.

Aplicando los parámetros de entrada obtenidos, y realizando un análisis de flujo uniforme en el software Hec Ras.

Imagen 8-3. Modelo HEC RAS Q Los Manzanos.



Ingresando los valores de cada uno de los periodos de retorno se obtienen los siguientes valores de lámina de agua en el punto de descarga:

PARÁMETRO	T= 2 Años	T= 5 Años	T= 10 Años	T= 20 Años	T= 50 Años	T= 100 Años
Caudal (m3/s)	3.71	6.53	9.45	13.16	19.49	25.52
Lámina de agua descarga (msnm)	2568.35	2568.68	2568.93	2569.23	2569.61	2569.9

Imagen 8-4. Perfil Principal Q Los Manzanos TR 100 AÑOS .

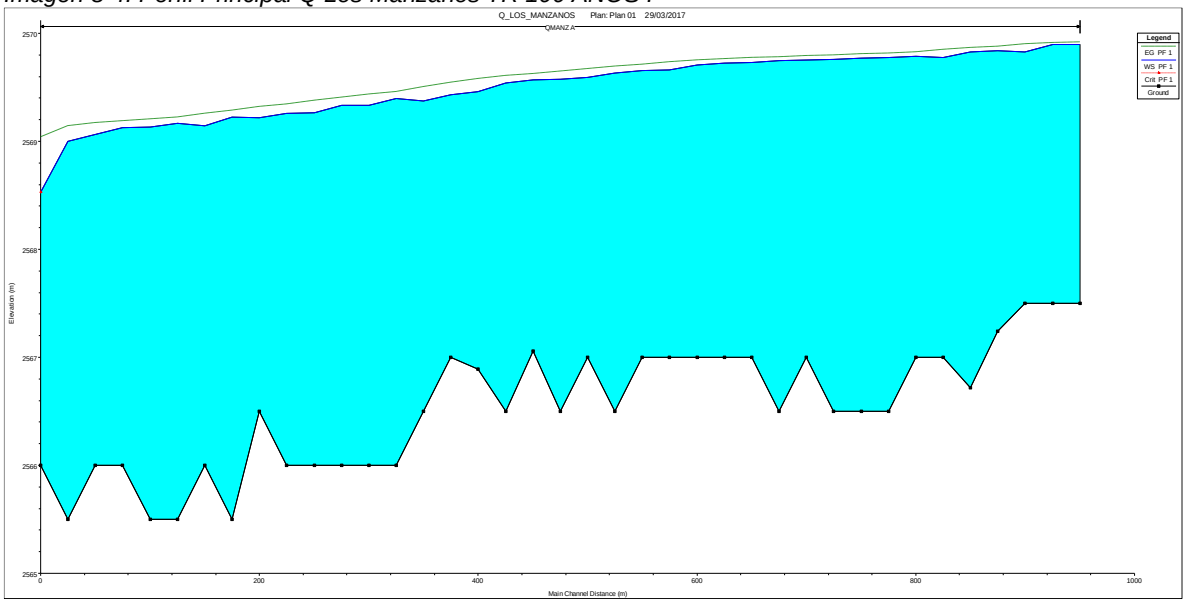


Imagen 8-5. Sección 0+200 Q. Los Manzanos TR 100 AÑOS .

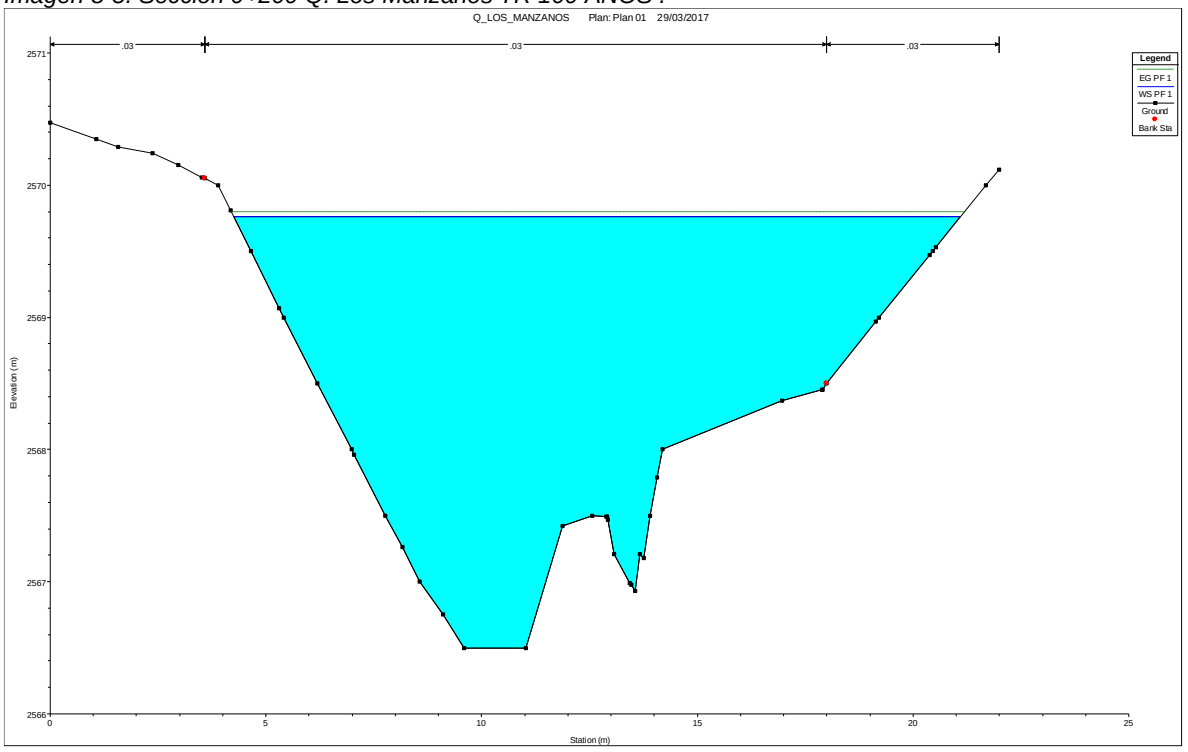
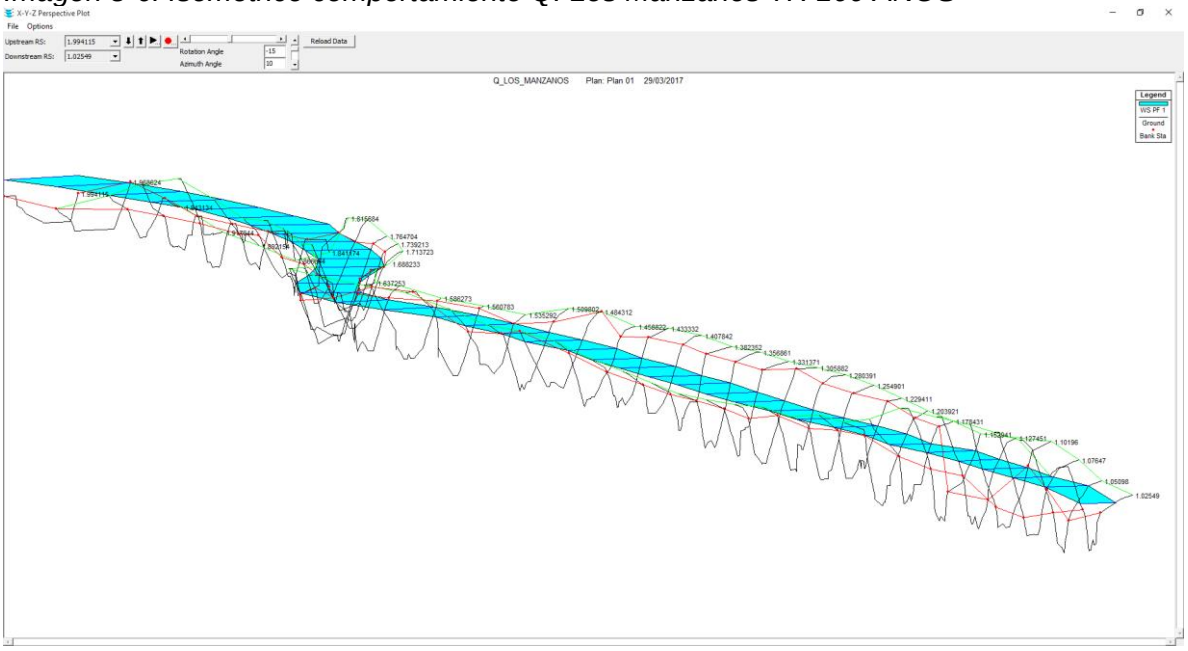


Imagen 8-6. Isométrico comportamiento Q. Los Manzanos TR 100 AÑOS



Del análisis realizado, se tiene cómo conclusión que con las condiciones actuales de la Quebrada, con caudales superiores a los del Tiempo de Retorno de 20 años se presentan láminas de aguas que superan los niveles de las bancas en los primero 50m del cauce aguas abajo de la vía Variante, esto se debe a que la pendiente de esta zona es nula debido a colmatación; sin embargo se concluye que haciendo adecuación del lecho del cauce, generando una pendiente de (0.002m/m) y un ancho de la base del canal de al menos 10m, este cauce soporta los caudales para el tiempo de retorno de 100 años, tal como se presenta en la figura siguiente de la sección 0+200, resultado de la modelación con el caudal del tiempo de retorno de 100años.

CAPÍTULO 9. CURVAS IDF

Para la estimación del caudal de diseño de aguas lluvias, se utilizó el Método Racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía (Literal D.4.3.2. – RAS 2000). La ecuación del método racional es:

$$Q = 2.78 * (C \times I \times A) \quad (1)$$

Dónde:
Q = Caudal pico en m^3/s,
I = Intensidad de la lluvia para un periodo de retorno específico y está dada en mm/h y es determinada a partir de las curvas IDF.
C = Coeficiente de escorrentía, el cual depende del uso del suelo y las condiciones topográficas del terreno.
A = Área de drenaje en Km^2
2.78 = Factor de conversión de unidades.

9.1 INTENSIDAD DE LA LLUVIA: CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

Las curvas IDF son las herramientas típicas para el cálculo de la intensidad de la lluvia en un punto asociada a diferentes periodos de retorno y a una duración de tormenta determinada. Dentro del Plan maestro de Alcantarillado del año 2010, se determinas las siguientes curvas IDF:

Las curvas IDF, se definen para periodos de retorno de 3, 5 y 10 años. Ver las siguientes figuras:

Figura 9-1 Curva IDF, Periodo de Retorno 3 Años

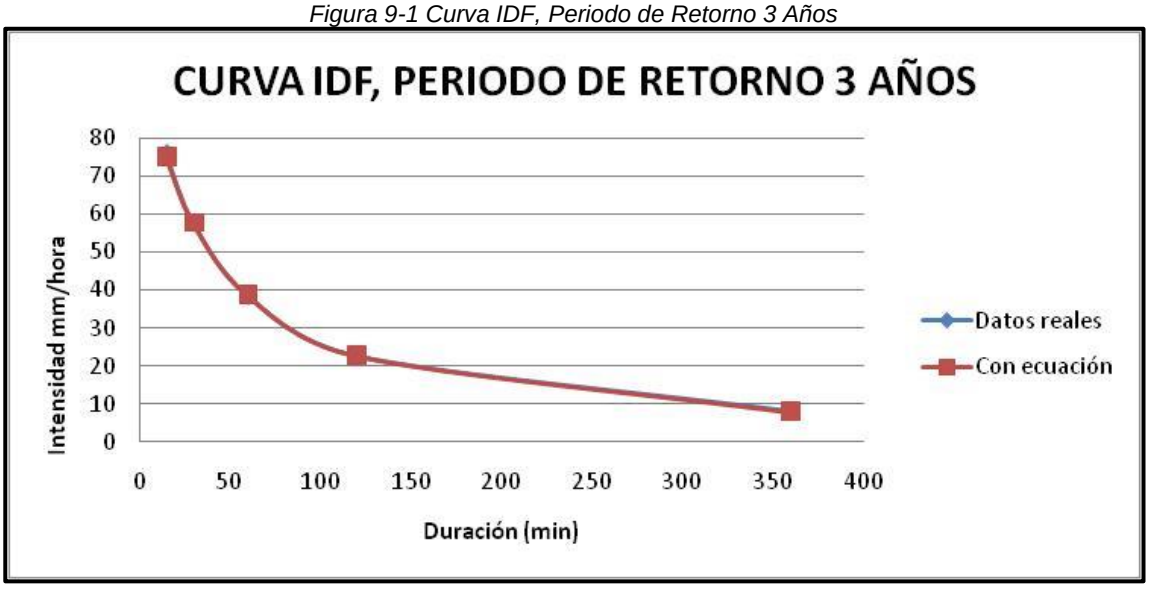


Figura 9-2 Curva IDF, Periodo de Retorno 5 Años

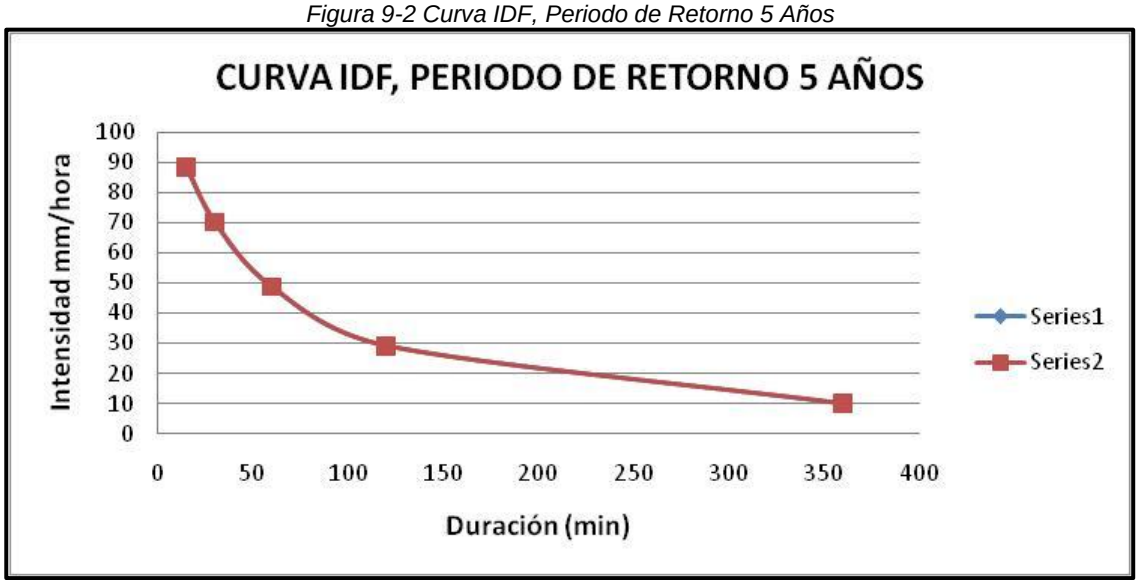
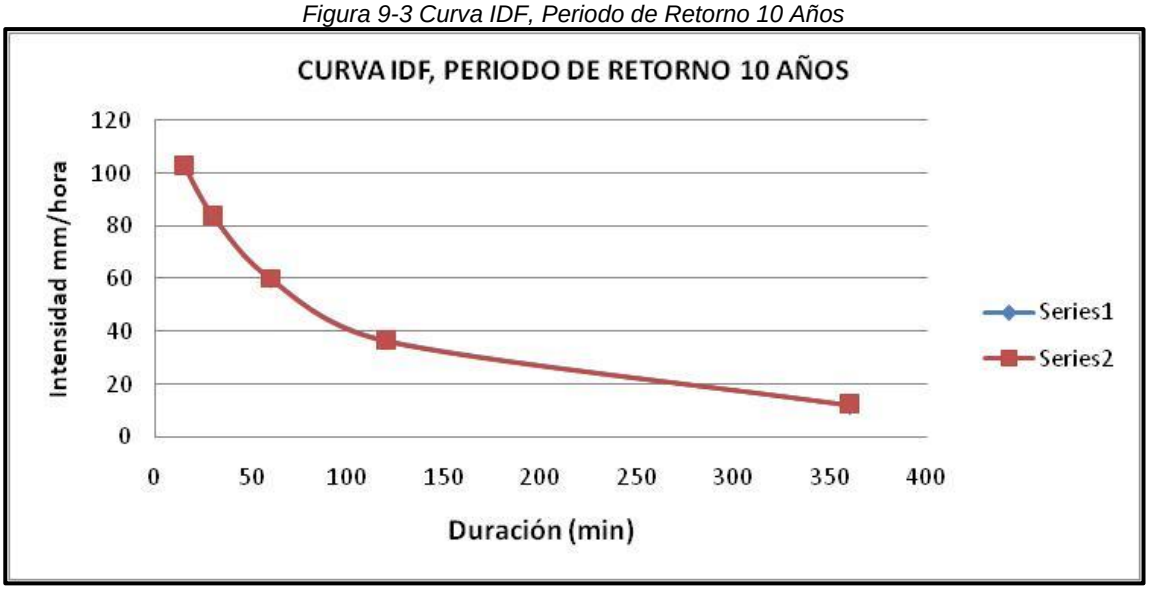


Figura 9-3 Curva IDF, Periodo de Retorno 10 Años



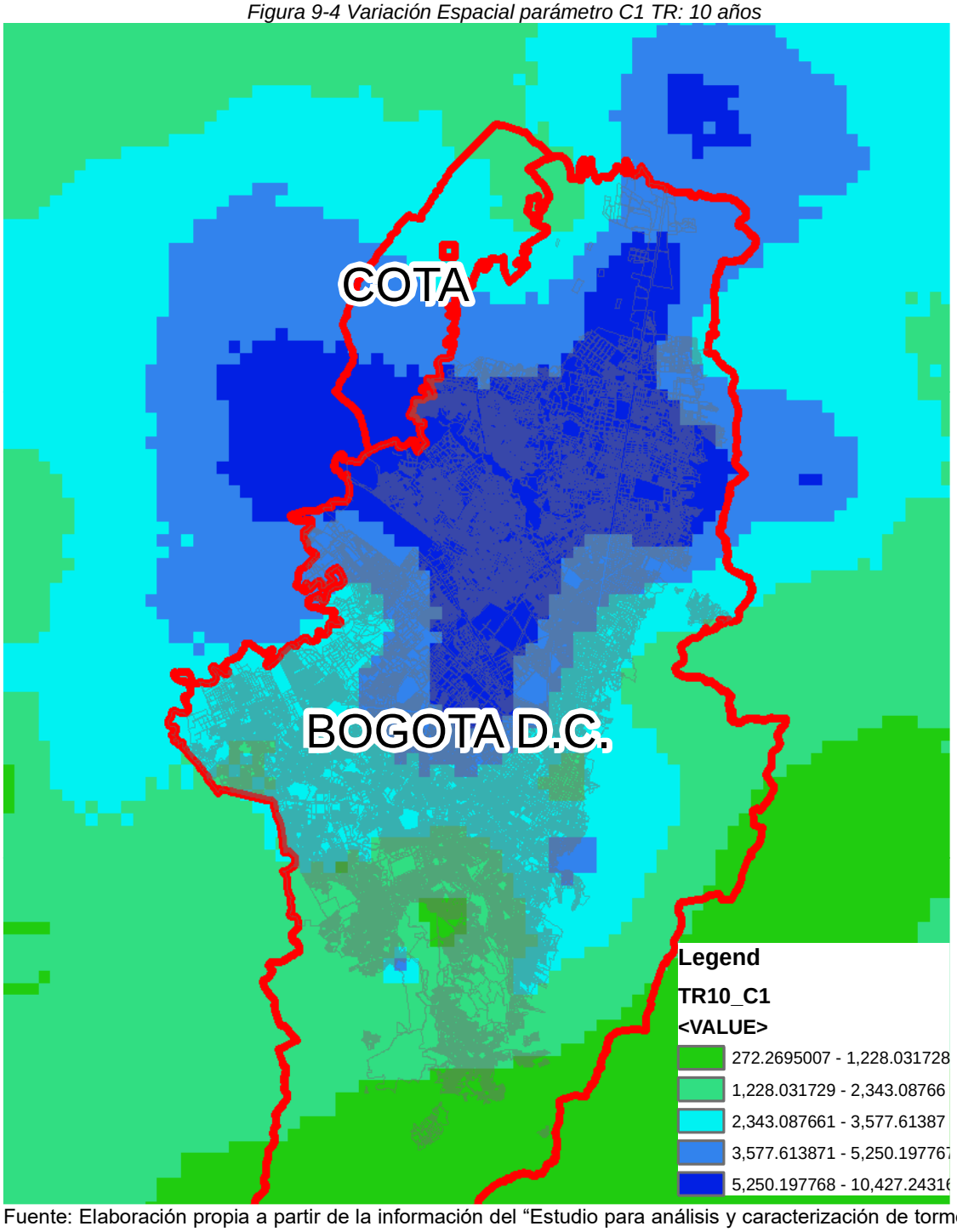
Con el objeto de validar las curvas IDF, se utilizó la norma técnica NS-085 DE LA Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, donde se determina que la Intensidad de lluvias es calculada a partir del periodo de retorno, frecuencia y duración de la tormenta de diseño, los datos para diferentes períodos de retorno se obtienen utilizando la siguiente expresión:

I = C1 * (X0 + Tc)^C2

Los parámetros para el cálculo de la Intensidad se obtienen de los resultados del "Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá" adelantado por el

ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, del cual se pueden obtener las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia en cualquier punto de la Sabana de Bogotá.

Figura 9-4 Variación Espacial parámetro C1 TR: 10 años



Fuente: Elaboración propia a partir de la información del "Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá

A partir de la Información de resultados del "Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", se validan las curvas IDF del Plan Maestro de Cota, con el cálculo de intensidad en el centroide de la Cuenca, para los diferentes periodos de retorno:

Tabla 9-1. Cálculo curvas IDF

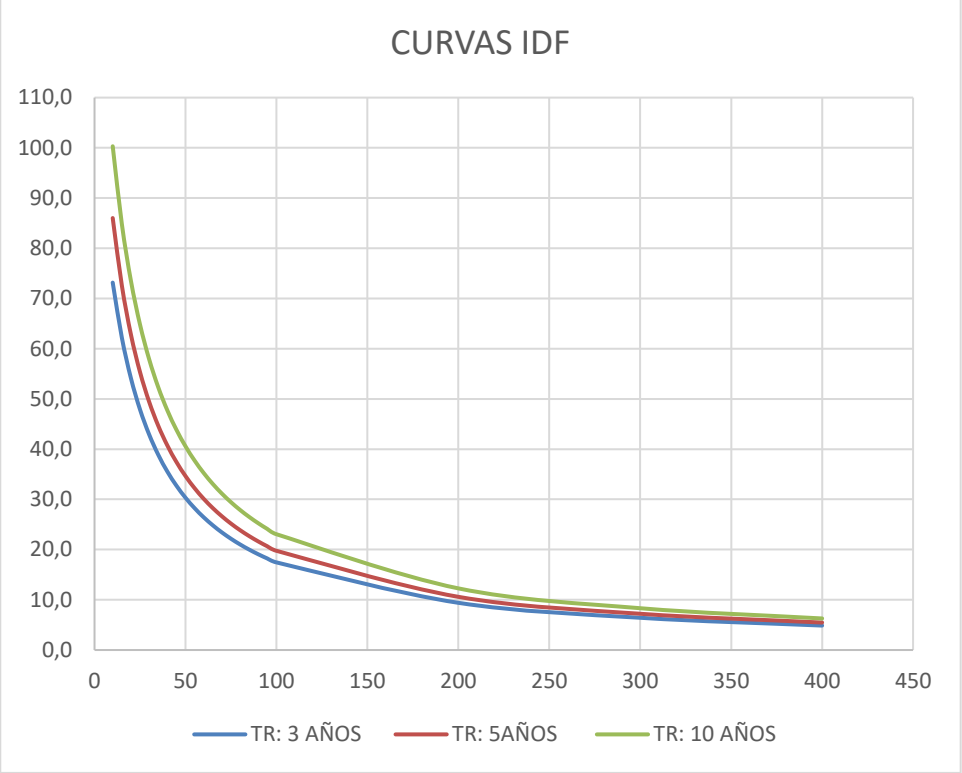
I = C1 * (X0 + Tc)^C2

T_r	C1	X0	C2
3	2212.958984	18.9	-1.01355
5	2468.36377	17.5	-1.01285
10	3148.658936	18.4	-1.0299

	TR: 3 AÑOS	TR: 5 AÑOS	TR: 10 AÑOS
Tc (min)	I (mm/hr)	I (mm/hr)	I (mm/hr)
10	73.2	86.0	100.3
15	62.2	72.6	84.9
20	54.1	62.8	73.5
25	47.9	55.3	64.8
30	42.9	49.5	57.9
35	38.9	44.7	52.4
40	35.6	40.8	47.7
45	32.7	37.5	43.9
50	30.3	34.6	40.6
55	28.2	32.2	37.7
60	26.4	30.1	35.3
65	24.8	28.3	33.1
70	23.4	26.6	31.2
75	22.2	25.2	29.4
80	21.0	23.9	27.9
85	20.0	22.7	26.5
90	19.1	21.6	25.2
95	18.2	20.6	24.1
100	17.4	19.8	23.1
200	9.4	10.6	12.3
300	6.4	7.2	8.3
400	4.9	5.5	6.3

Cómo resultado se obtienen las siguientes gráficas:

Figura 9-1 Curvas IDF



Fuente: Elaboración Propia.

Debido a que las curvas calculadas con la Información de la EAAB, son similares a las curvas del Plan Maestro, se puede afirmar que las curvas IDF utilizadas en el estudio Plan Maestro, son adecuadas para su utilización en el método racional y el cálculo de caudales del proyecto.

CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 RIO BOGOTÁ COLECTOR SUR

- El proyecto se localiza en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca. Tal como se ha mencionado anteriormente el presente análisis se realiza a los puntos de descarga de alcantarillado pluvial del municipio de Cota, los cuales desembocan en el río Bogotá, a la altura del municipio de Cota.

- El objetivo primordial del anterior análisis fue hallar los caudales que transita el río Bogotá para diferentes periodos de retorno en los puntos de descarga pluvial del alcantarillado de Cota.

- Se realizó el análisis hidrológico del río Bogotá, específicamente en los tres puntos de entrega del alcantarillado pluvial a la corriente anteriormente mencionada, definiendo los caudales máximos asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- Se realizó una caracterización general de la precipitación total anual y la temperatura media anual, por medio de mapas de isolíneas para ambos parámetros.

- Se recolecto información de las estaciones de Puente La Virgen operada por la CAR la cual presenta registros desde el año 2007 hasta el 2014y la estación Puente La Virgen operada por la EAB, la cual tiene registros desde 1990 hasta 2012 (no presenta datos entre 2004 y 2008).

- Al observar los datos se encontró que para los años 2010, 2011 y 2012 los caudales de las estaciones de la CAR y la EAB presentan diferencias entre 15 y 29 m^3/s por segundo, sin embargo en los años 2008 y 2009 estas diferencias eran apenas perceptibles. Cuando se miran los datos con mayor detenimiento los valores de caudales en ambas estaciones para valores inferiores a 30 m^3/s no tienen mayor variación (+/-2 m^3/s), una vez se registran valores mayores a éste valor se comienzan a presentar la diferencias mencionadas anteriormente.

Tomando en consideración lo anterior y dadas las diferencias en los registros entre ambas estaciones y la cercanía de las mismas, se decidió tomar el registro más crítico de cada año para realizar los análisis de caudal para la zona y generar un único registro esto con el fin de estar por el lado de la seguridad.

- Los datos de caudales máximos instantáneos anuales históricos mostrados en el Cuadro 6 2 se ajustaron a las distribuciones probabilísticas Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log – Pearson Tipo III, Log – Normal y EV3, a través de métodos estadísticos convencionales, de acuerdo con (Monsalve Saénz, 1999), (Ponce, 1989), (Hjelmfelt & Cass¡dy, 1976), (Chow, Handbook of Applied Hydrolgy, 1984) y (Chow, Maidment, & Mays, Applied Hydrology, 1988) y los resultados de esta variable hidrológica, relacionada a diferentes períodos de retorno, se presentan en el Cuadro 6 3 y en la Figura 6 1. Adicionalmente, para cada distribución probabilística se aplicó la prueba Chi – cuadrado, encontrándose que la distribución EV3 es la que mejor los ajusta, por lo cual los datos obtenidos a través de esta distribución fueron los seleccionados.

- Debido a que las estaciones no se encuentran exactamente en los puntos de descarga se aplicará la trasposición de caudales de la estación a los puntos de descarga por medio de la relación cuadrada de las áreas. Este tipo de metodologías son comúnmente empleadas en el país para hallar caudales, y son aplicables mientras que la diferencia entre las áreas no sea mayor al 50% del área hasta la estación. A continuación se presenta la ecuación empleada.

- Los caudales hallados para los diferentes puntos de descarga fueron los siguientes:

Punto	Caudal para Diferentes Periodos de Retorno (m^3/s)					
	T=2 Años	T=5 Años	T=10 Años	T=20 Años	T=50 Años	T=100 Años
Punto Descarga 1	25.18	41.09	53.02	64.91	80.55	92.35
Punto Descarga 2	25.18	41.08	53.01	64.89	80.54	92.33
Punto Descarga 3	25.09	40.94	52.84	64.68	80.27	92.02
Estación EAB	25.18	41.08	53.01	64.89	80.54	92.33

- A partir de los resultados obtenidos y dada la cercanía entre los puntos de descarga y la estación Puente La Virgen se encuentra que los caudales no tienen una variación notoria y si se deseara pueden tomar los caudales calculados para la estación como ciertos para todos los puntos de descarga.

- Debido a que las curvas calculadas con la Información de la EAAB, son similares a las curvas del Plan Maestro, se puede afirmar que las curvas IDF utilizadas en el estudio Plan Maestro, son adecuadas para su utilización en el método racional y el cálculo de caudales del proyecto.

10.2 QUEBRADA LOS MANZANOS COLECTOR NORTE

- El proyecto se localiza en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca. Tal como se ha mencionado anteriormente el presente análisis se realiza aguas abajo del cruce de la quebrada von la Variante Cota.

- El objetivo primordial del anterior análisis fue hallar los caudales que transita la quebrada Manzanos para diferentes periodos de retorno en el sitio de proyecto.

- Se realizó el análisis hidrológico de la quebrada Manzanos, específicamente en el sitio de proyecto anteriormente mencionado, definiendo los caudales máximos asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

- Como fue mencionado anteriormente, la estación pluviométrica Santa Inés fue escogida como representativa en el sitio de proyecto, por lo cual, en primera instancia, la definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro de precipitación se ha basado en los datos presentados en el Tabla 6-9, para la estación medidora de precipitación, Sta Inés, representativa con datos funcionales de este parámetro para el área de proyecto. Los datos en que se basa esta información fueron suministrados por la CAR, y se muestran en el Anexo No. 1.

- Se recolecto información de la estación Sta Inés operada por la CAR la cual presenta registros desde el año 1980 hasta el 2014 (no presenta datos entre 1983 – 1986 y 1989 – 1990).

- La hoya hidrográfica de la quebrada Manzanos se obtuvo a partir de las restituciones del IGAC obtenidas y se adecuó a la información oficial de estas restituciones. Finalmente la hoya hidrográfica obtenida se presenta en el Plano No. 1.

- Se realizó la ponderación por áreas para hallar el CN equivalente para la hoya hidrográfica en estudio, para realizar esta ponderación se empleó una imagen satelital de Google. En la Tabla 6-17 se presentan los porcentajes de los distintos tipos de cobertura vegetal presente en la cuenca hidrográfica de la quebrada Los Manzanos, en la Imagen 6-6 y en el Plano No. 1 se presenta la clasificación de cobertura vegetal. El resultado del valor de CN ponderado para la hoya corresponde a 78.0.

- A partir de los datos de entrada y las condiciones puestas para la simulación se obtuvieron los caudales y los hidrogramas de crecientes para los diferentes periodos de retorno simulados. En la siguiente Tabla se presentan los caudales máximos instantáneos para distintos periodos de retorno. En el Anexo No. 2 se presenta en archivo magnético la modelación en HEC-HMS.

ÁREA (km^2)	LONGITUD DEL CAUCE (km)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SELECCIONADO (min)	T_{LAG} (min)	CN	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL ADOPTADO	CAUDAL (m^3/s)					
							T= 2 Años	T= 5 Años	T= 10 Años	T= 20 Años	T= 50 Años	T= 100 Años
3.58	3.15	34.07	20.44	78.0	0.765	0.88	3.71	6.53	9.45	13.16	19.49	25.52

- Del análisis realizado, se tiene cómo conclusión que con las condiciones actuales de la Quebrada, con caudales superiores a los del Tiempo de Retorno de 20 años se presentan láminas de aguas que superan los niveles de las bancas en los primero 50m del cauce aguas abajo de la vía Variante, esto se debe a que la pendiente de esta zona es nula debido a colmatación; sin embargo se concluye que haciendo adecuación del lecho del cauce, generando una pendiente de (0.002m/m) y un ancho de la base del canal de al menos 10m, este cauce soporta los caudales para el tiempo de retorno de 100 años, tal como se presenta en la figura siguiente de la sección 0+200, resultado de la modelación con el caudal del tiempo de retorno de 100años.

CAPÍTULO 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chow, V. T. (1984). *Handbook of Applied Hydrolgy.* McGraw Hill Book Company.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology.* New York, U.S.A: McGraw Hill International Editions , Civil Engineering Series.

Hjelmfelt, J., & Cass¡dy, J. (1976). *Hydrology for Engineers and Planners.* Iowa: Iowa State University.

Monsalve Saénz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería.* Bogotá D.C, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology, Principles and Practices.* New Jersey, USA: Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Vargas M, R., & Diaz-Granados, M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia.* Bogotá: Universidad de Los Andes.

Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos.* Bogotá: McGraw Hill.

Hjelmfelt, J., & Cassidy, J. (1976). *Hydrology for Engineers and Planners.* Iowa: Iowa State University Press.

Maza Álvarez, J. A. (1968). *Socavación en Cauces Naturales.* México: Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de México.

Maza Álvarez, J. A., & García Flores, M. (1989). *Manual de Ingeniería de Ríos* (Vols. Capítulo 12, Estabilidad de Cauces). (S. d. Hidráulicos, Ed.) México.

Ministerio de Transporte. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras.* Colombia: Ministerio de Transporte.

Monsalve Sáenz, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería.* Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology, Principles and Practices.* New Jersey: Prentice Hall.

Remeneiras, G. (1974). *Tratado de Hidrología Aplicada.* Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.

U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2008). *HEC-HMS, Hydrologic Modelling Center.* Haestad Methods, Inc.

U.S Army Corps of Engineers. (2010). *HEC-RAS for Windows River Analysys System .* U.S Army Corps of Engineers.

Vargas M, R., & Diaz-Granados, M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia.* Bogotá: Universidad de Los Andes.