

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DEL
VALLADO UBICADO EN LA AVENIDA LA CONEJERA, REPECTO A LA NUEVA
REALINDERACION DE LA RESERVA TOMAS VAN DER HAMMEN
PROPUESTA POR LA ALCALDIA DE BOGOTA.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

MIGUEL ÁNGEL QUEVEDO MOLINA

CÓDIGO: 505811

JUAN PABLO VELANDIA RAMÍREZ

CÓDIGO: 504322

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

FACULTAD. INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2020

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DEL
VALLADO UBICADO EN LA AVENIDA LA CONEJERA, REPECTO A LA NUEVA
REALINDERACION DE LA RESERVA TOMAS VAN DER HAMMEN
PROPUESTA POR LA ALCANDIA DE BOGOTA.

MIGUEL ÁNGEL QUEVEDO MOLINA

CÓDIGO: 505811

JUAN PABLO VELANDIA RAMÍREZ

CÓDIGO: 504322

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERÍO CIVIL.

Asesor: HENRRY ALBERTO CORDOBA.

Ingeniero Civil, Msc

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

FACULTAD. INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

DEDICATORIA

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro asesor, Msc Henry Córdoba, mi compañero Juan pablo Velandia, quien a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos aprendidos durante el transcurso de los años. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mi en todo momento y a pesar de todas las dificultades que pasamos nunca dudaron de mis habilidades. A mi madrina quien se convirtió en mi segunda madre al acogerme en su hogar como si fuera un hijo más. Pero la persona más importante a quien dedico este proyecto es para dios, gracias al por dejarme llegar a este punto, por darme salud y nunca desampararme.

Miguel Ángel Quevedo Molina

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
CONTENIDO	5
LISTA DE ILUSTRACIONES	8
LISTA TABLAS	10
LISTA DE GRAFICAS.....	10
INTRODUCCIÓN	11
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	12
1.1 LINEA DE INVESTIGACION	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2.1 PROBLEMA A RESOLVER	12
1.2.2 ANTECEDENTES	12
1.2.2.1 Reserva Tomas Van Der Hammen Actualmente	15
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 GENERAL	16
1.4.2 ESPECIFICO	17
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	17
2 MARCO DE REFERENCIA.....	18
2.1 MARCO TEÓRICO	18
2.1.1 Reserva Van Der Hammen	18
2.1.2 Vallado	18
2.1.3 Embalse	19
2.1.4 Capacidad hidráulica.....	19
2.1.5 Impacto Ambiental.....	20
2.1.6 HEC-HMS	20
2.1.7 HEC- RAS	20
2.1.8 Global Mapper.....	21
2.1.9 Capacidad de infiltración del suelo.....	21

2.1.10	Coeficiente de escorrentía.....	21
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	23
2.3	MARCO LEGAL.....	24
3	METODOLOGIA.....	26
4	RESULTADOS.....	27
4.1	HIDROLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	27
4.1.1	CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	27
4.1.2	HOYA HIDROGRAFICA.....	31
4.1.3	CARACTERISTICAS DEL SUELO.....	35
4.1.3.1	Infiltración del Suelo.....	36
4.1.4	ESTUDIO HIDROLOGICO.....	37
4.1.4.1	Datos Hidrológicos.....	37
4.1.4.2	Estaciones Meteorológicas.....	37
4.1.4.3	Información de las estaciones.....	39
4.1.4.4	Análisis Estadístico De Datos Hidrológicos.....	42
4.1.4.5	Verificación de la homogeneidad de los datos climatológicos.....	43
4.1.4.6	Método de doble masas.....	44
4.1.4.7	Tiempo de concentración.....	46
4.1.4.8	Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).....	51
4.1.4.9	Periodos de retorno.....	53
4.1.4.10	Intensidad.....	53
4.1.4.11	Determinación de caudales.....	56
4.1.4.12	Hietogramas de diseño.....	57
4.1.4.13	Modelación en HEC-HMS.....	62
4.1.4.14	Caudales Máximos Diseño reserva actualmente.....	70
4.1.4.15	Modelación HEC-HMS de la reserva realinderada.....	70
4.1.4.16	Caudales máximos de diseño para la reserva realinderada.....	72
4.2	BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	72
4.2.1	Valores Totales Mensuales De Precipitación (mm).....	73
4.2.2	Evaporación total Promedio Mensual.....	73
4.2.3	Evapotranspiracion.....	73
4.2.3.1	Cálculo de la Evapotranspiración.....	74

4.2.4	Balance Hídrico	74
4.3	VERIFICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	76
4.3.1	Registro fotográfico	76
4.3.2	Entrega topográfica	77
4.3.2.1	Perfil del modelado el AutoCAD	78
4.3.2.2	Secciones transversales	81
4.4	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL VALLADO PRINCIPAL.....	87
4.4.1	Modelación en HEC-RAS.....	87
4.4.1.1	Abscisado y secciones transversales en Auto CAD Civil.....	88
4.4.1.2	Manning utilizado para la modelación en HEC-RAS.....	90
4.4.1.3	Modelación	92
4.4.1.4	Secciones transversales en HEC-RAS	92
4.4.1.5	Resultados Modelación para el Vallado actualmente	93
4.4.1.6	Resultados Modelación para el Vallado con recubrimiento en concreto	97
5	ANALISIS DE RESULTADOS	101
5.1.1	Realinderacion de la Reserva tomas van de Hammen	101
5.1.2	Hidrología del sector	101
5.1.3	Topografía	102
6	CONCLUSIONES	104
7	RECOMENDACIONES	105
8	BIBLIOGRAFIA	106

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Reserva TVDH actualmente	15
Ilustración 2. Reserva TVDH con el nuevo POT	15
Ilustración 3. Esquema de un vallado	19
Ilustración 4. Marco conceptual.	23
Ilustración 5. Vallado principal	28
Ilustración 6. Zonas Recreativas	29
Ilustración 7. Vallado de la avenida la Conejera	30
Ilustración 8. Estancamiento del agua.	31
Ilustración 9. Hoya hidrográfica.....	32
Ilustración 10. Vallados de presentes dentro de la RTVDH.	33
Ilustración 11. Características de la Hoya hidrográfica	34
Ilustración 12. Hacienda la Conejera	35
Ilustración 13. Ensayo de infiltración.....	36
Ilustración 14. Estaciones de la CAR.....	38
Ilustración 15. Estaciones IDEAM.....	39
Ilustración 16. periodos de retorno para drenaje en carreteras.	53
Ilustración 17. Modelo de la cuenca en HEC-HMS	63
Ilustración 18. Modelación en HEC_HMS Tr=2 años.....	64
Ilustración 19. Modelación en HEC_HMS Tr=5 años.....	65
Ilustración 20. Modelación en HEC_HMS Tr=10 años.....	66
Ilustración 21. Modelación en HEC-HMS Tr=20 años	67
Ilustración 22. Modelación en HEC-HMS Tr=25 años	68
Ilustración 23. Modelación en HEC-HMS Tr=50 años	69
Ilustración 24. Área de Zonas duras con la nueva realinderacion de la RTVDH ...	71
Ilustración 25. sector vía suba-Cota.....	76
Ilustración 26, sector vía suba-Cota.....	76
Ilustración 27. Modelo en AutoCAD	78
Ilustración 28. Entrega topográfica.	79
Ilustración 29. Levantamiento Topográfico	80
Ilustración 30. Reserva TVDH.....	81
Ilustración 31. Levatamiento topográfico en Google Earth	82
Ilustración 32. Modelo en Global Mapper	83
Ilustración 33. Sección C	84
Ilustración 34. Sección E	85
Ilustración 35. Sección L.....	86
Ilustración 36. Abscisado del canal en Autocad Civil 3D y en HEC-RAS.....	88
Ilustración 37. Secciones en HEC-RAS	89
Ilustración 38. Secciones en HEC-RAS vista de perfil	89
Ilustración 39. Valores de manning.....	90
Ilustración 40. Manning de canal excavado	91
Ilustración 41. Manning canal en concreto.....	91
Ilustración 42. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20.....	92

Ilustración 43. Sección Vallado en HEC-RAS sección 1000.....	92
Ilustración 44. Sección Vallado en HEC-RAS sección 2140.....	93
Ilustración 45. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=5 años...	94
Ilustración 46. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=25 años.	94
Ilustración 47. Sección Vallado en HEC-RAS sección 960 modelada TR=5 años.	95
Ilustración 48. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=25 años.	95
Ilustración 49. Resultados modelación TR=5 años.....	96
Ilustración 50. Resultados modelación TR=25 años.....	97
Ilustración 51. Sección Vallado en concreto sección 20 modelada TR=5 años.....	98
Ilustración 52. Sección Vallado en concreto sección 20 modelada TR=25 años ..	98
Ilustración 53. Resultados modelación TR=5 años.....	99
Ilustración 54. Resultados modelación TR=25 años.....	100

LISTA TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de esorrentía para áreas rurales	22
Tabla 2. Coeficiente de esorrentía áreas urbanas.	22
Tabla 3. Marco legal	24
Tabla 4. Características de la hoya hidrografica.	34
Tabla 5. Estación Apto Guaymaral	40
Tabla 6. Estación C. Univ. Agro - UDCA.....	41
Tabla 7. Estación Torca	42
Tabla 8. Precipitación Máxima Anual.....	43
Tabla 9. Homogenización de datos.....	44
Tabla 10. Tiempos de Concentración	50
Tabla 11. Precipitación Máxima Promedio.....	52
Tabla 12. valores de los coeficientes a, b, c, d para el cálculo de las curvas IDF..	54
Tabla 13. Intensidad para diferentes periodos de retorno.....	55
Tabla 14. Hietograma de lluvia de diseño Tr =5 años.....	57
Tabla 15. Hietograma de lluvia de diseño Tr =10años.....	58
Tabla 16. Hietograma de lluvia de diseño Tr =20años.....	59
Tabla 17. Hietograma de lluvia de diseño Tr =25años.....	60
Tabla 18. Hietograma de lluvia de diseño Tr =50 años.....	61
Tabla 19. Caudales Máximos para la zona actualmente	70
Tabla 20. Caudales Máximos para la zona actualmente	72
Tabla 21. Precipitación Total Promedio Mensual.....	73
Tabla 22. Evaporación Total Promedio Mensual	73
Tabla 23. Temperatura Media Mensual.	73
Tabla 24. Cálculo de la Evapotranspiración.....	74
Tabla 25. Balance hídrico	75
Tabla 26. Datos HEC-RAS	87
Tabla 27. Comparación de caudales	101

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Método Doble Masas.....	46
Grafica 2. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)	56
Grafica 3. Hietograma de precipitación de diseño para Tr = 5 años	58
Grafica 4. Hietograma de precipitación de diseño para Tr = 10 años	59
Grafica 5. Hietograma de lluvia de diseño Tr =20años	60
Grafica 6. Hietograma de lluvia de diseño Tr =25 años	61
Grafica 7. Hietograma de lluvia de diseño Tr =50 años	62
Grafica 8. Balance Hídrico	75

INTRODUCCIÓN

Bogotá cuenta con una iniciativa que transformará el norte de Bogotá en una ciudad donde convergerán viviendas con equipamientos como centros culturales, recreativos, educativos y de salud. Además, se recuperarán y protegerán las zonas ambientales existentes y se mejorará la movilidad de la zona¹.

Actualmente, en el norte de Bogotá se encuentra una zona protegida ambientalmente, que mediante el acuerdo *CAR No 11 de julio de 2011*, el consejo directivo de la Corporación Autónoma Regional (CAR), declaró la reserva forestal productora Regional de Bogotá D. C. “*Thomas Van der Hammen*”², que cuenta con un área de 1.499 hectáreas de suelo rural cuyos límites están determinados en el acuerdo nombrado anteriormente.

La reserva actualmente cuenta con un sistema de vallados que se encargan del drenaje del agua lluvia de la zona, con el fin evitar inundaciones en los terrenos en este sector, además de suministrar agua para los cultivos de esta zona, también cumple con la tarea de delimitar los terrenos que se encuentran allí.

Estos vallados correspondientes a cauces artificiales, revestidos o no, que se construyen para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce, en este caso el río Bogotá, humedal Guaymaral o embalses que se encuentren en el sector. Estos sistemas hídricos ocupan 25.17 hectáreas, equivalente al 1.80% de la reserva.³

Por otro lado, cuando se realice la nueva realineación de la reserva, las zonas que actualmente son prados o predio agropecuarios y que ayudan a drenar el agua lluvia por medio de la infiltración desaparecerán y serán remplazados por materiales impermeables como el concreto o asfalto ocasionando que la recolección de agua lluvia sea mucho mayor, por lo que se afectarían los vallados que se tienen actualmente y en especial el vallado principal que se encarga de conducir el agua lluvia hasta el río Bogotá.

¹Secretaría distrital de planeación – Plan de Ordenamiento Territorial, lagos de torca disponible en: <http://www.sdp.gov.co/micrositios/lagos-de-torca/que-es>

² CAR. Acuerdo CAR No.11. 2011 p.1-5.

³ Acuerdo 021 DE 2014 - Adopta Plan de Manejo Ambiental de la RFRPN de Bogotá D.C. - THOMAS VAN DER HAMMEN disponible en: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1151>

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LINEA DE INVESTIGACION

Estudio hidrológico e hidráulico.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA A RESOLVER

Hoy en día, la reserva cuenta con gran variedad de sistemas hídricos primarios y secundarios, los cuales se encargan de la recolección y dirección de las aguas lluvia con el fin evitar posibles inundaciones en las zonas aledañas a la reserva, estos sistemas de recolección pueden ser humedales, canales y vallados entre otros. Desde ese punto de vista nace una problemática en la cual se basará este proyecto, que pasaría si estos sistemas de recolección y drenaje fueran alterados por la construcción de urbanizaciones y edificaciones propuestas por el distrito hoy en día.

Antes que nada, estas construcciones modificarían en gran parte el área protegida de la reserva que se tiene hoy en día, por lo tanto, afectaría directamente los sistemas de drenaje pluvial que se encuentran en la zona, dado que las estructuras de recolección y conducción de aguas lluvias en algunos lugares tendrían que ser alteradas o retiradas para darle espacio a las nuevas edificaciones.

Por otro lado, de acuerdo con lo anterior nace la idea de realizar una evaluación del comportamiento hidráulico de una estructura de drenaje que se encuentra en la zona y que en algunos casos es la primera en recolectar y drenar el agua lluvia precipitada en el sector, que en nuestro caso serán los “vallados”. De modo que esta evaluación se hace con el fin de determinar que problemas o afectaciones se llegarían a tener al ser alterados los vallados del sector.

De acuerdo al sector ubicado al occidente del cerro la conejera y el rio Bogotá por la avenida la conejera que conduce al municipio de cota. ¿cuál sería el comportamiento hidráulico del vallado principal una vez urbanizado el sector, respecto a la nueva realinderacion de la reserva Tomas Van Der Hammen?

1.2.2 ANTECEDENTES

La reserva Thomas Van Der Hammen ha sido tema de discusión debido a que el actual alcalde Enrique Peñalosa Londoño dio a conocer el interés del crecimiento de la ciudad de Bogotá, a causa de esto ha hecho que la capital de Colombia entre

en polémica. Debido a esto se realizaron estudios en la reserva, para conocer cuál es el manejo y mantenimiento de la reserva.

La presente alcaldía de Bogotá realiza la solicitud de recategorización, realinderecion y sustracción para la reserva forestal regional Thomas Van Der Hammen, mediante esta hizo la petición de recategorizar la reserva de forestal productora a forestal protectora, además de esto se solicita el realinderamiento del área para ampliar el área de reserva de 1.396 hectáreas a 1.170 hectáreas.⁴

En septiembre de año 2010 se realiza el Proyecto Corredor Borde Norte de Bogotá Fase I, con el fin de realizar un estudio de los vallados que se localizan en la reserva Thomas Van Der Hammen para determinar en qué estado se encuentran y que características presentan, por consiguiente se establece que la conectividad hídrica de las aguas superficiales del borde norte de la ciudad de Bogotá D.C, está constituida en tres ejes principales, estos están conformados por el canal de torca-Guaymaral, los vallados paralelos a la vía cota-suba y la quebrada la salitrosa. Estos entran en los 17 puntos de muestreo, dentro de los cuales se estableció que el mayor caudal está en el canal torca-Guaymaral. De acuerdo con este estudio que se elabora, se infiere que existe contaminación en los cauces en la zona de estudio según la inspección visual.⁵ Donde se evidencia La principal fuente de contaminación en el canal Torca corresponde a la red de alcantarillados, cuyos vertimientos fueron identificados en la ejecución de la VII fase del programa de seguimiento y monitoreo de la calidad del recurso hídrico de Bogotá. Además, existe otra fuente de contaminación, que son las aguas de escorrentía provenientes de las canteras ubicadas en el costado nororiental de la ciudad. Ellas arrastran una cantidad importante de sólidos que son transportados por los canales San Cristóbal y Serrezuela hasta el canal Torca.⁶

Con el fin de continuar los estudios en la reserva Thomas Van Der Hammen, en diciembre de 2011 la CAR en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia presentan el proyecto borde norte de Bogotá fase 2, donde se manifiesta un componente más técnico sobre la reserva, en este se encuentra el módulo de la

⁴Alcaldía mayor de Bogotá –Peñalosa Londoño Enrique, alcalde de Bogotá - la solicitud de recategorización, realinderecion y sustracción para la reserva forestal regional Thomas Van Der Hammen, disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b07111dab27f.pdf>

⁵Dirección general, Gerardo Ardila calderón, IEU-CES, Universidad nacional de Colombia – Instituto de estudios urbanos, proyecto corredor norte borde de Bogotá fase I, CAR septiembre 2010. disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5acba1d15f1f4.pdf>

⁶ Londoño Diana Patricia, Pontificia Universidad Javeriana - Transversal 4ª núm. 42-00, primer piso, Edificio José Rafael Arboleda S.J, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987336/Calidad+del+sistema+hidrico+de+Bogot%C3%A1.pdf>

conectividad sistema hídrico, donde se contrasta la información del trabajo de campo que se realiza con la información existente.

Con la intención de contrastar la información en el 2010, se establece que, dentro de los 17 puntos de muestreo de los caudales seleccionados en el área de estudio en abril de 2010, es correcto asumir que los mayores caudales están en el canal de Torca- Guaymaral, seguido por el caudal en la quebrada la Salitrosa en su desembocadura en el Río Bogotá. De manera que el estudio que se realiza en la fase 2, muestra que existió incremento considerable en los caudales de los drenajes seleccionados para el seguimiento, comparando los valores encontrados en abril 2011 y abril 2010. Con el objeto de una valoración de los dos estudios realizados, se aprecia como el humedal soportó y amortiguó el reflujó del Río Bogotá evitando la inundación de los predios adyacentes.⁷

Partiendo de los proyectos borde de Bogotá fase 1 y fase 2, esto en conjunto con el plan de manejo de la reserva ambiental Tomas Van Der Hammen, donde se caracterizaron los vallados, en qué condiciones se encuentran estos, además de encontrar vallados que no se encontraban caracterizados en las cartografías de la CAR, de acuerdo con el Plan De Manejo ambiental, este caracteriza Los cauces localizados al sur del Club los Arrayanes hasta el humedal La Conejera, estos drenan en sentido Noreste-Suroeste hacia los vallados de la vía Suba-Cota, los cuales van en sentido Sureste-Noroeste y desembocan en el río Bogotá, en los límites de Bogotá con el municipio de Cota.⁸ no obstante, Los vallados que se encuentran en la reserva están en condiciones que no son las más óptimas, las cuales pueden provocar que el vallado pueda no cumplir su función de amortiguador de aguas lluvias y por el contrario ser un factor crítico convirtiendo ese sector en una zona de inundación.

⁷ Ardila Calderón Gerardo, Antropólogo, proyecto borde norte de Bogotá fase 2, Universidad Nacional de Colombia disponible en:
http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/3_Extension/Borde_Norte/Informe_Final_Borde_Norte_Fase2-IEU-2011.pdf

⁸ CAR, plan de manejo ambiental reserva forestal productora regional del norte de Bogotá D.C 'Thomas Van Der Hammen' disponible en:
<http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35721/28548.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

1.2.2.1 Reserva Tomas Van Der Hammen Actualmente

La alcaldía realizó una comparación de cómo es la reserva actualmente y como sería con la realineación de esta en el nuevo POT.

Ilustración 1. Reserva TVDH actualmente



Fuente. Alcaldía mayor de Bogotá

Ilustración 2. Reserva TVDH con el nuevo POT



Fuente. alcaldía mayos de Bogotá.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La reserva Thomas Van Der Hammen cuenta hoy en día con una serie de vallados que se encuentran distribuidos en toda el área de la reserva que en la mayoría de los casos fueron elaborados por la comunidad o agricultores con el fin de evitar las posibles inundaciones que se presentaban en el sector, además en algunos casos los agricultores que tienen cultivos dentro de la reserva y necesitaban traer agua para beneficio de ellos.

“Los vallados ubicados al interior de los predios privados, en muchas ocasiones son taponados, convirtiendo a las áreas aledañas, en sitios susceptibles de inundación donde es difícil la evacuación del agua provocando grandes problemas a los habitantes del sector”. Adicionalmente, en ocasiones son utilizados como receptores de aguas residuales sin tratamiento, generando malos olores y contaminando las fuentes hídricas superficiales y subterráneas.”⁹

Por otra parte, se encontraron algunas investigaciones y artículos, referente a sistemas de manejo de aguas lluvia referente a toda la *THOMAS VAN DER HAMMEN*. Sin embargo, se ha decidido realizar este estudio más a fondo y enfocado el en el sector de la avenida la conejera vía que conduce al municipio de cota ya que se identificó que todos los vallados que se encuentran al occidente del cerro la conejera llegan a un vallado principal que se encarga de dirigir el agua hacia el río Bogotá.

Por lo tanto, el estudio a realizar pretende dar a conocer por medio de una verificación hidrológica e hidráulica del vallado principal y como es su comportamiento hidráulico a lo largo de la avenida la conejera hasta su desembocadura en el río Bogotá.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Analizar y evaluar el comportamiento hidrológico e hidráulico del vallado principal ubicado en la avenida la conejera respecto a la actual y nueva Realinderacion de la reserva Tomas Van Der Hammen.

⁹ CAR. Plan de manejo ambiental reserva forestal productora del norte de Bogotá TVDH, Componente diagnóstico, 2013. p.1-36.

1.4.2 ESPECIFICO

- Recopilar información hidrológica de la zona de estudio con el fin de determinar la capacidad hidráulica del vallado en diferentes periodos de retorno de la capital.
- Realizar una verificación en campo del vallado que se encuentran en la avenida la conejera desde la hacienda la conejera y la carrera 135.
- Hacer una modelación hidráulica del vallado, para un escenario actual y otro donde ya se encuentre realinderada la reserva Tomas van Der Hammen

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Este proyecto se centra en el comportamiento hidrológico e hidráulico del vallado principal en diferentes periodos de retorno, teniendo en cuenta que la zona donde se realizará el estudio es en la avenida la conejera desde la hacienda la conejera y la carrera 135. Puesto que el vallado donde, se analizará el comportamiento hidráulico es el encargado de drenar una gran parte de la reserva actualmente y realinderada.

- Principalmente realizaremos una verificación de información del vallado de fuentes secundarias como lo son estudios realizados anteriormente por entidades como la CAR, la secretaria distrital de ambiente o investigaciones elaboradas por universidades entre otros. También se realizarán visitas de campo al vallado donde se tenga accesibilidad, con el fin tener información real tomada directamente en campo, si es necesario hacer algún tipo de levantamiento topográfico, mediciones, registros o alguna otra actividad necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Posteriormente se realizará evaluación, con el fin de identificar qué zona será afectada directamente con el nuevo POT aprobado por la secretaria de planeación. También, determinar qué áreas serán urbanizadas y cuáles serán dispuestas para zonas verdes o se utilizarán para el drenaje de aguas lluvias.
- Realizar un estudio hidrológico de la zona de drenaje que tiene como punto de recolección el vallado ubicado en la avenida la conejera, con el fin de determinar que caudales son producidos en zona en diferentes periodos de retorno.
- Se determinará el comportamiento hidráulico del vallado principal se encuentra en la zona, posteriormente se tomarán los datos obtenidos en los puntos anteriores, con el fin de realizar una superposición con la zona actual y con la nueva realinderacion de la reserva.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

A continuación, se dan a conocer los fundamentos teóricos con los cuales se sustenta este trabajo

2.1.1 Reserva Van Der Hammen

Estructura ecológico principal, polígono de resguardo ambiental, red de ecosistemas que se destinan a la preservación de la naturaleza. Es un territorio que pretende ser recuperado para que se pueda garantizar la supervivencia del ecosistema remanentes.

La reserva alberga varios tipos de cuerpos de agua que se manifiestan de formas distintas, como humedales y quebradas; al ser parte del valle aluvial del río Bogotá y por su posición geográfica entre los cerros orientales y los de Cota, esta zona del norte de la ciudad resulta de vital importancia en el ciclo hidrológico.¹⁰

Este territorio de conserva natural que está en constante contacto, con la ciudad y sus deterioros. Puesto que es una fuente natural principal en la que residen muchas especies de fauna y flora, que se alimentan de la reserva se tiene un plan de manejo, para el trato de esta. La reserva mitiga emisiones de CO₂ y el cambio climático, además de ser el bosque urbano más grande de Latinoamérica, regula el corredor hídrico de aguas lluvias.

2.1.2 Vallado

Se entiende por vallados los cauces naturales de aguas estancadas o semi-estancadas en los cuales no se han adelantado obras de infraestructura para su canalización.¹¹

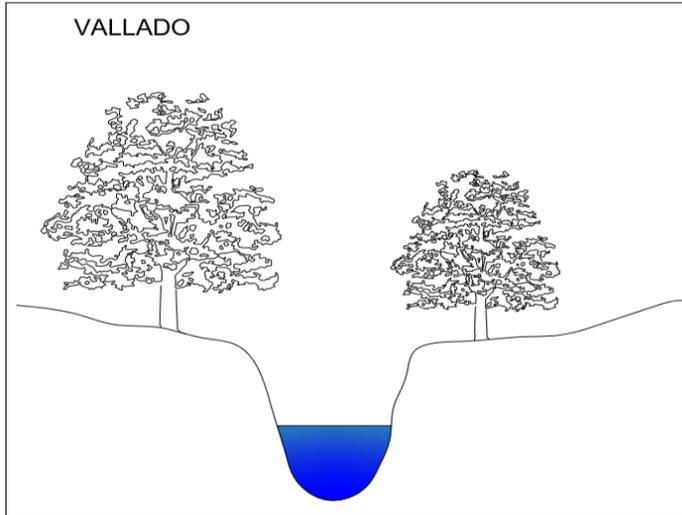
Los vallados de la reserva Thomas Van Der Hammen son cuerpos de agua artificiales que dividen los terrenos, también trasportan agua a los cultivos y conducen su cauce hacia el río Bogotá.

¹⁰ Tomado de: Página oficial de la reserva Thomas Van Der Hammen-

disponible en: <http://www.reservathomasvanderhammen.co/index.php/que-es-la-reserva/descripcion>

¹¹ **JORGE PABLO CHÁLELA ROMANO** - Concepto 2180 de 1998 Departamento Administrativo de Planeación Distrital, disponible en: <http://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1156>

Ilustración 3. Esquema de un vallado



Fuente: Autores

2.1.3 Embalse

El agua del río se almacena, cuando el caudal del río durante la sequía disminuye, lago artificial que tiene una función de reponer la cantidad de agua antes de descargar el agua almacenada. En áreas montañosas, se hace represando el agua del río con una presa. Las cosas pequeñas se llaman cuencas .abastecimiento de agua para la sequía tiempo, sino que está destinada al abastecimiento de agua para la agricultura o el generador, en los últimos años ha hecho que los depósitos que contienen el propósito de control de inundaciones.¹²

De acuerdo con el trabajo de campo que, realizado por la CAR, donde evidencio que papel que cumplen los vallados y que papel cumple el embalse, que funciona como amortiguador y zona de inundación en temporadas de aguas lluvias.

2.1.4 Capacidad hidráulica

Caudal máximo que un conducto, canal u otra estructura hidráulica es capaz de conducir. Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.¹³De manera que la capacidad hidráulica de un vallado será; el volumen máximo de agua que podrá contener el canal.

¹² Hebonisha World Encyclopedia of World Encyclopedia 2nd Edition disponible en: <https://kotobank.jp/word/A0-98378>

¹³ tomado de:

<http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=345&termino=capacidad+hidr%E1ulica>

2.1.5 Impacto Ambiental

Existen distintos tipos de impactos que tienen lugar sobre el medio ambiente. Uno de estos tipos y el que se tendrá en cuenta en el desarrollo de este trabajo es la variación de la calidad ambiental, el cual diferencia el impacto como positivo y negativo.

Impacto positivo: es aquel, admitido como tal, tanto por la comunidad técnica y científica como por la población en general, el cual consiste en que implica una mejora en el ambiente por la presencia del proyecto, según el criterio técnico, científico, social, legal, entre otros.

Impacto negativo: es aquel cuyo efecto se traduce en pérdida de valor ecológico, estético-cultural, paisajístico, de producción ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación.

Evaluación de impacto ambiental: Se entiende como el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad causa sobre el medio ambiente. [6] En la evaluación de impacto ambiental se debe incluir la identificación y evaluación de los impactos ambientales que puedan ocasionar el proyecto, obra o actividad.¹⁴

2.1.6 HEC-HMS

Es un software de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas de unidades y enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua, incluida la evapo-transpiración, el deshielo y la contabilidad de la humedad del suelo. También se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía cuadrículada utilizando la transformación de escorrentía cuasi distribuida lineal (ModClark).¹⁵

2.1.7 HEC- RAS

Es un software que permite al usuario realizar un flujo estable unidimensional, cálculos de flujo no estacionario unidimensionales y bidimensionales, cálculos de transporte de sedimentos / lecho móvil y modelos de temperatura del agua / calidad

¹⁴ Castellanos Lina, Pérez Nicolas, evaluación económica ambiental del proyecto ciudad paz en la reserva Thomas Van Der Hammer, universidad Santo Tomas – facultad de ingeniería ambiental,

¹⁵ Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers.

del agua. En pocas palabras este software modeliza el comportamiento hidráulico de flujos de agua de ríos naturales y otros canales.¹⁶

2.1.8 Global Mapper

Global Mapper es una potente aplicación que combina una gama completa de herramientas de tratamiento de datos espaciales con acceso a una variedad sin precedentes de formatos de datos. Es desarrollado tanto para profesionales SIG como para iniciados, este software versátil y muy eficiente como herramienta independiente de gestión de datos SIG, o como complemento a un SIG existente.¹⁷ Hoy en día es muy utilizado gracias a su diversidad de sus funciones en base al manejo de datos especiales.

2.1.9 Capacidad de infiltración del suelo

Es la velocidad máxima con la que el agua penetra el suelo, esta depende de muchos factores, por ejemplo, un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto, esto se debe a que una gran parte de los poros del suelo ya se encuentran saturados, es decir que la capacidad de infiltración será menor cuando la humedad del suelo es relativamente baja.

2.1.10 Coeficiente de escorrentía.

Es la relación entre una lámina de agua precipitada sobre una superficie y lamina de agua que escurre superficialmente, estas se expresan en mm.¹⁸ El coeficiente de escorrentía no es un valor constante puede variar para diferentes factores, como la magnitud de la lluvia precipitada, con las condiciones fisiográficas de la cuenca hidrográfica.

¹⁶ Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers.

¹⁷ www.geosoluciones.cl/global-mapper/

¹⁸ Linsley & Franzini. Engenharia de recursos hídricos. Sao Paulo: Universidad de San Paulo

Tabla 1. Coeficiente de escorrentía para áreas rurales

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

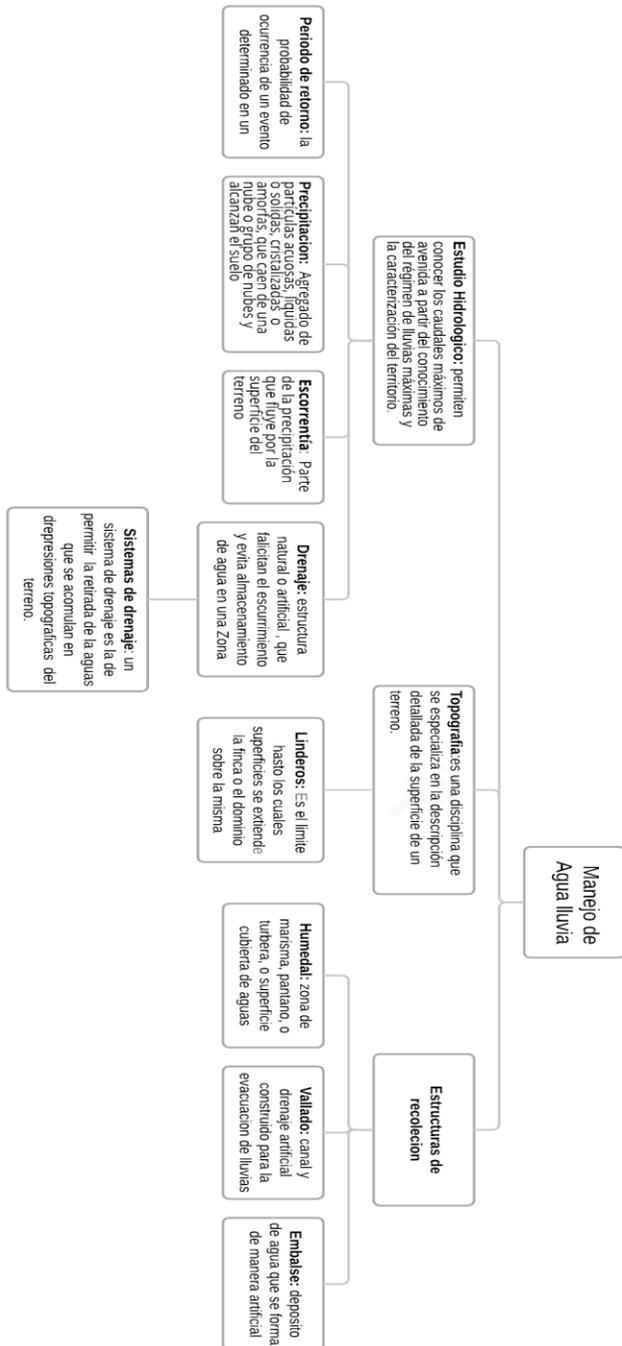
Fuente. Manual de drenaje para carreteras, INVIAS

Tabla 2. Coeficiente de escorrentía áreas urbanas.

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 - 7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 - 7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Fuente. Manual de drenaje para carreteras, INVIAS

MARCO CONCEPTUAL



2.2 MARCO CONCEPTUAL

Ilustración 4.Marco conceptual.

Fuente: Autores

2.3 MARCO LEGAL

La normatividad Nacional y Distrital que se relacionan al proyecto que se muestra a continuación.

Tabla 3.Marco legal

DOCUMENTO	ENTIDAD DE APLICACIÓN	CONCEPTO
Resolución No. 00835 de junio 24 d 2015	Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Declara de utilidad pública e interés social áreas de terreno prioritarias para consolidar la conectividad ecológica, protección y restauración de los valores ambientales entre los cerros orientales, el área de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Tomas van der Hammen: y el Río Bogotá y se adoptan otras determinaciones.
Resolución No. 0187 de abril 1 de 2015	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP	Se acota, se anuncia y se declaran de utilidad pública las zonas de terreno de los predios requeridos para el fortalecimiento, preservación y restauración de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, a efecto de garantizar los objetivos de conectividad hídrica con la quebrada la salitrosa, el humedal la conejera y el Río Bogotá.
Acuerdo 21 del 23 de septiembre 2014	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR	Por medio Regional del cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Thomas van der Hammen".
Artículo 61 de la ley 99 de 1993	Congreso de la Republica	Declaró "la Sabana de Bogotá, sus páramos, aguas, valles aledaños, cerros circundantes y sistemas montañosos como de interés ecológico nacional, cuya destinación prioritaria será la agropecuaria y forestal".
Resolución 0475 del 17 de mayo de 2000	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Ordenó la declaratoria de la Reserva Forestal Regional del Norte de Bogotá, como "franja de conexión, restauración y protección".
Acuerdo No.011 de 19 de julio de 2011	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	Por medio del cual se declara la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C, "Thomas Van der Hammen", se adopta unas determinantes ambientales para su manejo, y se dictan otras disposiciones.
Artículo 204 de la Ley 1450 de 2011	a CAR	Las áreas de reserva forestal podrán ser protectoras o productoras. Las áreas de reserva forestal protectoras nacionales son áreas protegidas y hacen parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Continuación de Tabla No.3

DOCUMENTO	ENTIDAD DE APLICACIÓN	CONCEPTO
Resolución No. 1526 de 2012	Congreso de la Republica	Se establecieron los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades consideradas de utilidad pública o de interés social.
Resolución No.0264 de 2018	Ministerio de Ambiente, Desarrollo Sostenible.	Se adoptó el procedimiento de las autoridades ambientales deben seguir para los estudios que deben sustentar los procesos de recategorización, integración y realineamiento de las reservas forestales.

Fuente: Autores

3 METODOLOGIA

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos expuestos anteriormente, se realizarán las siguientes actividades:

Fase I

- Procesar y analizar información básica, como investigaciones realizadas por instituciones públicas y privadas, por ejemplo (CAR, SDA, EAB, SDP, IGAC, IDEAM).

Fase II

- Se realizará visita a campo para la verificación del vallado, identificando características como lo son longitud, ancho, profundidad, estado actual del vallado.
- Por otra parte, se hará topografía para poder determinar ubicaciones exactas del vallado, también para determinar pendientes que manejan y características geométricas del mismo.
- Se realizará estudio hidrológico correspondiente para la zona donde se encuentra ubicado el vallado.
- También se hará una base de datos de las características tomadas en las visitas en campo de cada vallado.

Fase III

- Elaboración de planos en planta del terreno y se realizara el respectivo dimensionamiento de zonas de influencia del vallado como alturas máximas y secciones transversales del mismo.
- Realizar modelación del vallado en software especializados, para determinar su comportamiento hidráulico para diferentes periodos de retorno.

Fase VI

- Se analizará las zonas de afectación, zonas más críticas del vallado y zonas de mayor inundación al tener diferentes periodos de retorno.

4 RESULTADOS

4.1 HIDROLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la presente sección se dan a conocer los resultados obtenidos para el desarrollo del proyecto, iniciando con la caracterización general de la zona de estudio, para la cual se realizará el estudio hidrológico, seguido de las series de datos climatológicas entregados por las entidades correspondientes, ajuste de datos por medios estadísticos, cálculo de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF), determinación de caudales para diferentes periodos de retorno con los que se realizara la modelación hidráulica.

4.1.1 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está comprendida en su mayoría cerca de la Reserva Tomas van der Hammen, en donde se observa que esta zona en su mayoría son predios privados, se encuentran áreas dedicadas a la ganadería, agricultura, zonas de recreación y zonas industriales.

El estudio tiene como eje principal los vallados que se encuentran en la avenida la conejera (Calle 171) entre el cerro la conejera y la Carrera 135 en donde, se identificó el vallado principal y que se encarga de recolectar y drenar el agua lluvia precipitada en el sector de la reserva Tomas Van der Hammen y los predios aledaños a esta. El vallado se encuentra ubicado al costado norte de la vía la conejera que une al municipio de cota con Bogotá, el estado actual del vallado es bueno, sin embargo, hay sectores de este que se presenta estancamiento de agua, ya sea porque se presentan muchos sedimentos sobre él o por basura arrojada por la comunidad que transita por la vía.

Ilustración 5. Vallado principal



Fuente. Autores

En la Ilustración 5 se muestra la ubicación del vallado principal, en el cual se desarrollará el proyecto, como se puede observar es una estructura hidráulica de grandes dimensiones ya que recolecta gran parte del agua lluvia producida desde el cerro la conejera hasta el rio Bogotá, por lo tanto, se realizara un estudio hidrológico para esta estructura hidráulica, teniendo como base que este será el punto recolección de la precipitación producida en la zona. El vallado demarcado en la ilustración anterior lo alimentan diferentes vallados de dimensiones más pequeñas que provienen del interior de la reserva y de los predios del norte de la vía la conejera.

Ilustración 6. Zonas Recreativas.



Fuente. Autores

En la Ilustración 6 se observa una de las muchas zonas recreativas que se encuentran en el sector correspondientes a escuelas de futbol en su mayoría, también restaurantes temáticos. Por otro lado, se alcanza a observar que el terreno en su mayoría es plano, en la parte superior se observa el cerro de la conejera siendo la parte más alta de nuestra zona de estudio.

Ilustración 7. Vallado de la avenida la Conejera



Fuente. Autores

En la Ilustración 7 se observa el estado actual del vallado principal que se encuentra ubicado a lo largo de la avenida la Conejera, se identifica que este vallado no presenta flujo de agua en la parte occidental cerca al cerro de la Conejera,

se observa en la visita a campo realizadas que este vallado presenta graves problemas de estancamiento de agua, debido a que la zona es muy plana, además se presenta gran cantidad de sedimentos ocasionando el flujo libre del agua que transita por el vallado.

Ilustración 8. Estancamiento del agua.



Fuente. Autores.

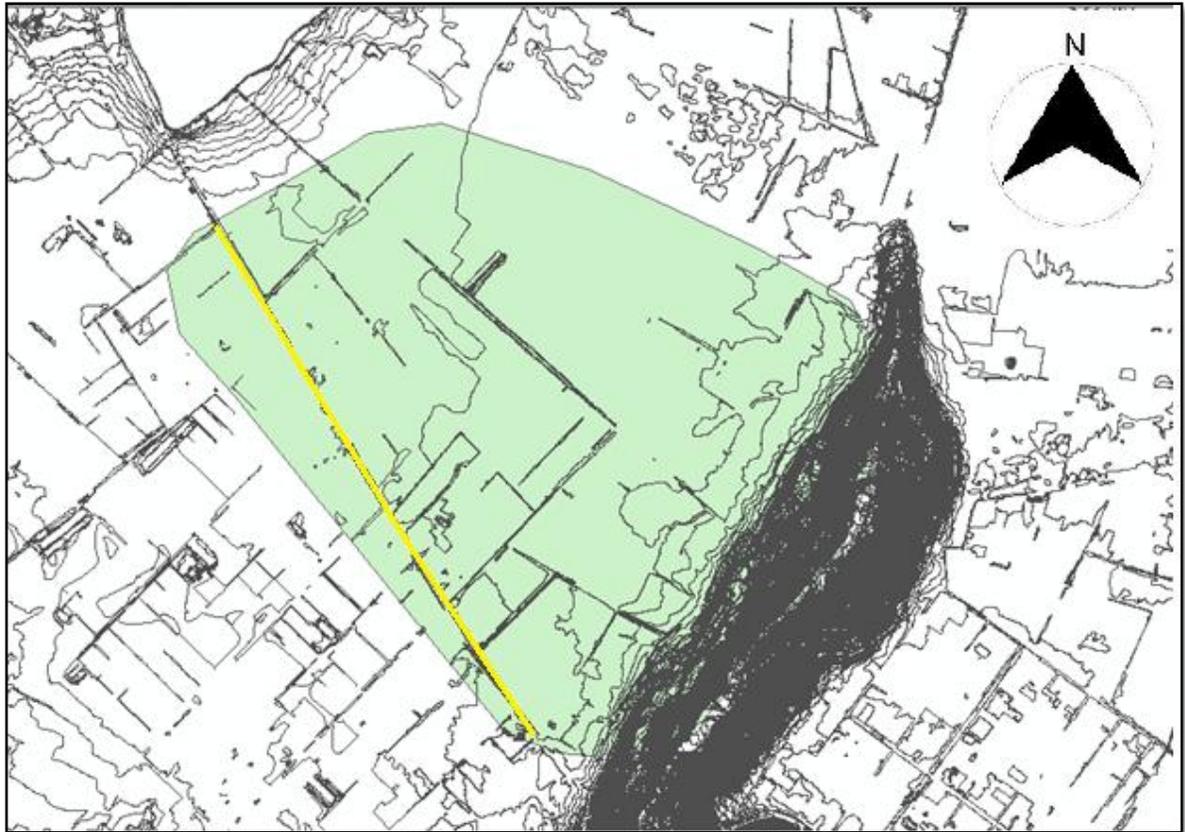
En la Ilustración 8 se identifica como se presentan los estancamientos de agua en algunos sectores del vallado que se encuentra al costado sur de la avenida la conejera, en donde se presentan grandes estancamientos de agua, debido a la recolección del agua presente a un tubo que pasa por debajo de cada intersección que se presenta en la vía, por lo tanto a lo largo de la vía en donde se presentan estos casos, siempre se encuentra el estancamiento del agua ya sea porque el tubo que recolecta el agua no cumple con la capacidad para transportar toda el agua del vallado o por que la tubería se encuentra sedimentada ocasionando la reducción del flujo transportado.

4.1.2 HOYA HIDROGRAFICA

La hoya hidrográfica es la zona de estudio o ente físico natural donde se realizará todo el cálculo hidrológico. Es el área limitada topográficamente en donde el agua lluvia es drenada, donde todo el caudal producido es descargado a través de una salida simple localizada en el punto más bajo de la hoya hidrográfica, el límite

topográfico es el punto divisorio donde se dividen las precipitaciones de la zona, en donde las precipitaciones caen en hoyas vecinas.¹⁹

Ilustración 9. Hoya hidrográfica.



Fuente. Curvas Nivel Bogotá. IDECA. ArcGIS

 Vallado principal Avenida la conejera.

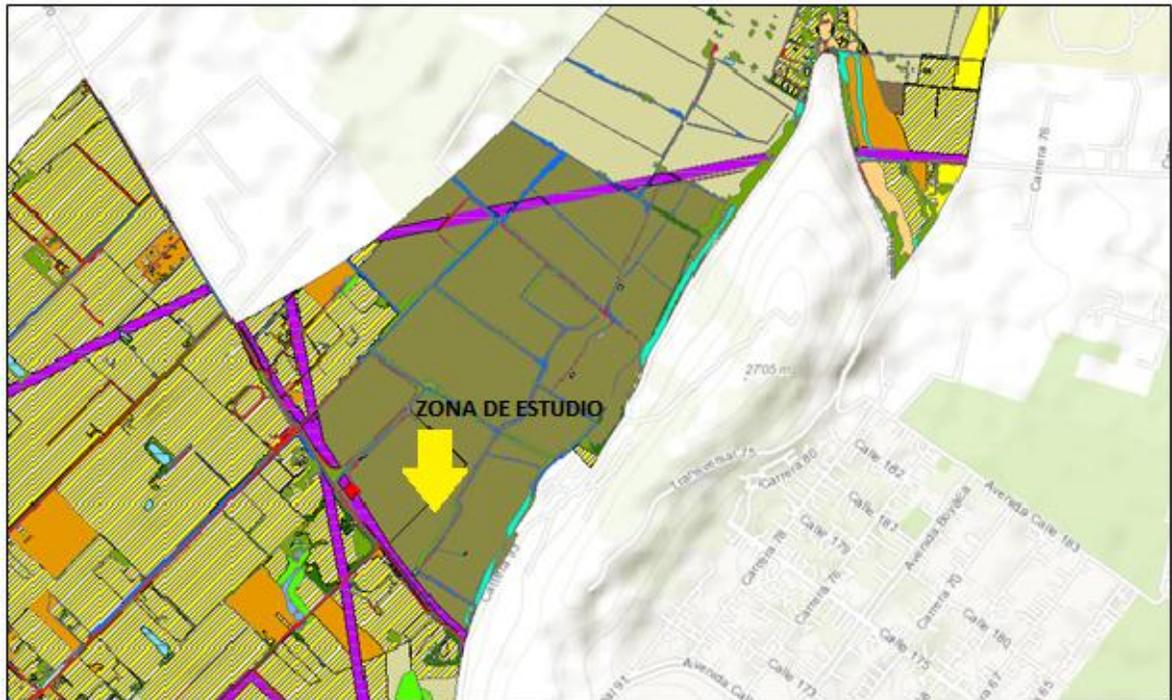
 Hoya hidrográfica

En la Ilustración 9 se muestra la hoya hidrológica tomada para realizar el estudio hidrológico, para su determinación se tomaron los límites topográficos que pueden dividir la precipitación presente en el sector, es decir que se tomaron las curvas de nivel con cotas más elevadas buscando identificar los sectores más altos del terreno, sin embargo cabe acotar que la zona presenta pendientes muy pequeñas por lo tanto el sector es muy plano, las curvas de nivel fueron suministradas por el IDECA las cuales fueron las más detalladas que se obtuvieron.

¹⁹ Manual de drenaje para carreteras. INVIAS. 2009

Debido a que la zona donde desarrollo del proyecto es muy plana, la hoya se determinó también mediante la conectividad que tienen los vallados dentro de la reserva Tomas Van der Hammen hasta llegar al vallado principal que se muestra de color amarillo en la Ilustración 9.

Ilustración 10. Vallados de presentes dentro de la RTVDH.



Fuente. Visor de la CAR. ArcGIS online.

- Zona de protección al paisaje, Bien de interés cultural - Hacienda La Conejera
- Vallados presentes en la reserva Tomas van Der Hammen dentro de la zona de estudio

En la Ilustración 10 se observan los vallados que se tiene dentro de la reserva en donde se identifica que están conectados y descargan al vallado principal que se encuentra en la avenida la conejera, por tal motivo se decidió que la hoya hidrológica de estudio abarcara todo el sector de estos vallados que se encuentran al norte de la vía, al occidente se tomó hasta la topografía limite cerca al rio Bogotá, para el costado sur de la avenida la conejera se tomó una pequeña zona de drenaje debido a que según la topografía, la elevación disminuye hacia el sur, por lo tanto, la escorrentía superficial se dirigirá hacia otra zona de salida.

A continuación, se muestra las características generales de la hoya hidrográfica obtenidas mediante el software ArcGis el cual nos permite determinar el área y el perímetro de la hoya hidrográfica planteada para el estudio, además el programa nos permite ver con claridad las curvas de nivel que nos suministró el IDECA.

Ilustración 11. Características de la Hoya hidrográfica

The screenshot shows the 'Table' window in ArcGIS. The table is titled 'Hoya hidrologica' and contains the following data:

FID	Shape *	Id	Area_KM2	Perime_KM
0	Polygon	0	5.961106	9

Below the table, there are navigation controls and a status bar indicating '(0 out of 1 Selected)'.

Fuente. Autores. ArcGIS

Una vez determinado el polígono de la hoya hidrográfica, por medio de ArcGIS se determina el área y el perímetro de esta, como se puede observar en la Ilustración 11.

Tabla 4. Características de la hoya hidrográfica.

Área	5.96 Km
Perímetro	9.00 Km
Cota inicial del vallado	2555
Cota Final del vallado	2545
Pendiente Media Del Vallado real	0.30 %
Longitud total de vallado	3.32 Km

Fuente. Autores

En la Tabla 4 se tienen las características físicas de la hoya hidrológica en donde se observa que la pendiente del vallado principal es del 0,30 % según el levantamiento topográfico realizado, para lo es una pendiente muy pequeña debido a que la zona es muy plana, una variación de 10 metros aproximadamente en una

longitud de 3.32 km quiere decir que el terreno varía considerablemente su elevación en el sector.

4.1.3 CARACTERISTICAS DEL SUELO

Los suelos en la zona de estudio son principalmente de uso agropecuario y son predios de extensiones muy grandes pertenecientes en su mayoría a la hacienda la conejera y a privados. También se encuentran zonas de recreación como lo son escuelas deportivas de futbol.

Ilustración 12. Hacienda la Conejera



Fuente. Proyecto Borde Norte de Bogotá Fase 2. 2011

En el sector de la hacienda la conejera según el estudio realizado Proyecto Corredor Borde Norte Fase II del 2011. En donde se realizó un análisis exhaustivo de la reserva Tomas Van der Hammen por parte de la CAR y otras entidades públicas.

Gracias a este estudio se obtuvo una gran cantidad de información sobre los suelos que se presentan en el sector de la hacienda la conejera. En el numeral 3.5.2 de dicho documento se encontró toda la información necesaria para realizar el estudio hidrológico adecuado para la zona de estudio.

Principalmente los suelos de la reserva para el sector o zona de estudio que corresponden a la mayoría a la hacienda la conejera, que corresponde a la zona rural del norte de Bogotá D.C, con pendientes entre 1-3 %. Esta zona se encuentra en una altitud de 2.580 m, clima frio seco, con temperatura anual de 14°C y precipitación pluvial anual de 800 milímetros anuales.²⁰

²⁰ Dirección general, Gerardo Ardila calderón, IEU-CES, Universidad nacional de Colombia – Instituto de estudios urbanos, proyecto corredor norte borde de Bogotá fase I, CAR septiembre 2010. disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5acba1d15f1f4.pdf>

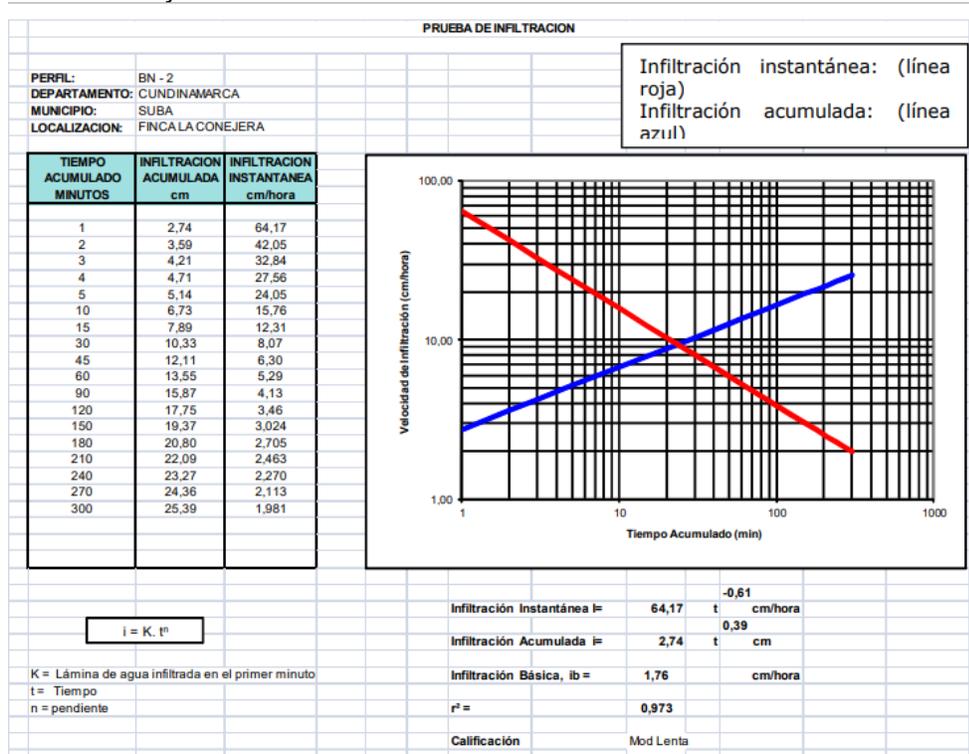
Los suelos están conformados por arcillas, son superficiales, limitados por capas compactadas de arcillas, son moderadamente bien drenado y contienen texturas muy finas con una fertilidad alto, por eso su uso actualmente de este sector es agropecuario. La vegetación natural se ha ido talando siendo remplazada por prados que sirven de alimento al ganado u otros animales.

4.1.3.1 Infiltración del Suelo

La infiltración del suelo se determino gracias el estudio realizado anteriormente por la CAR, en donde se tomo una muestra del suelo en la hacienda la conejera y se determinaron las propiedades hidrodinámicas de la muestra tomada

Obteniendo como resultado que el coeficiente de infiltración del suelo es de 1.76 cm/h, se tomó la infiltración básica que arrojaba en ensayo de laboratorio, de acuerdo con los resultados de los análisis de infiltración en cm/h, esta se califica como moderadamente lenta.

Ilustración 13. Ensayo de infiltración



Fuente. Proyecto Borde Norte De Bogotá Fase 2. 2011

4.1.4 ESTUDIO HIDROLOGICO

4.1.4.1 Datos Hidrológicos

Para los datos hidrológicos se realizó la investigación de estos en las diferentes entidades en donde que manejan o que tienen una base de datos de estos datos, como lo son el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) la cual es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia. También se analizaron los datos hidrológicos de los suministró la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), en donde se presentaron que esta entidad contaba con una estación muy cerca a la donde se realiza es estudio.

Los datos climatológicos solicitados a las estaciones fueron los de precipitación máxima en 24 horas (mm) de acuerdo a la metodología del manual de drenaje del INVIAS los registros de precipitación de las estaciones se presentan en el Anexo No.1

4.1.4.2 Estaciones Meteorológicas

Se escogieron las estaciones climatológicas más cercanas al sector en donde se realizará el estudio, también que la elevación en que se encontraba la estación no tuviera una diferencia muy grande a la elevación promedio de la zona de estudio, con el fin de tener datos más reales del comportamiento del clima en este sector, por lo tanto, se realizó la investigación correspondiente en las entidades ya nombradas en el *numeral 4.1.4.2*

A continuación, se presentan las estaciones elegidas para realizar el estudio hidrológico del sector.

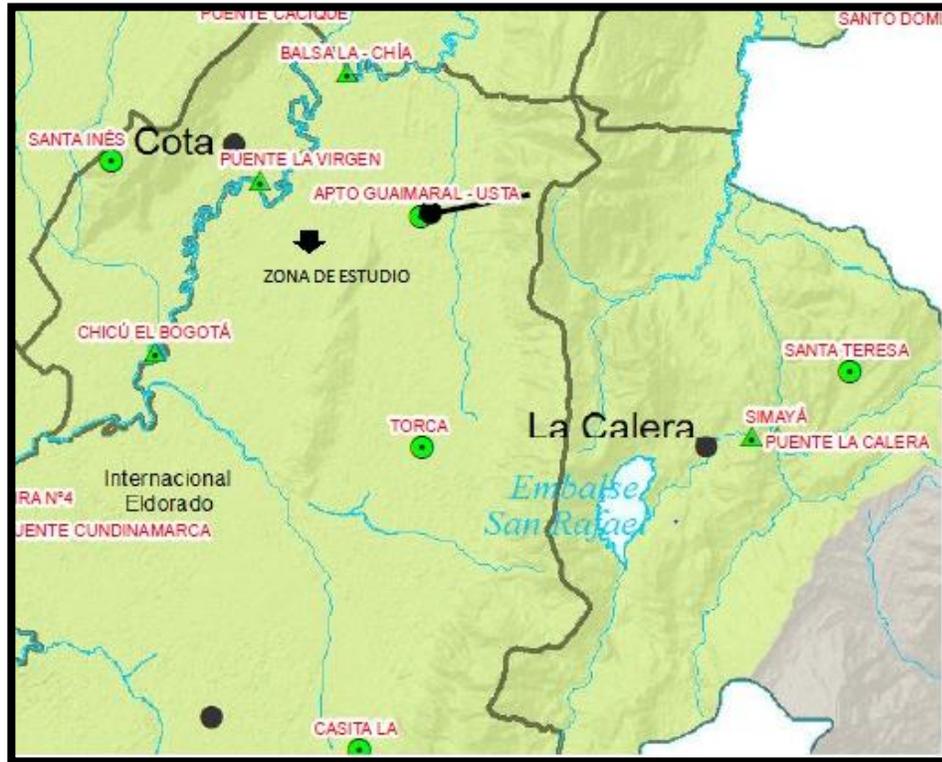
- Estación: 2120559 - Apto Guaymaral (CAR)
- Estación: 21206260 - C. Univ. Agrop – UDCA (IDEAM)
- Estación: 2120077 – Torca (CAR)

En la Ilustración 14 se tienen las estaciones cercanas de la CAR que se encuentran cerca de la zona de estudio. También se identifican estaciones hidrológicas dentro del río Bogotá, es decir que estas estaciones no aportan datos climatológicos.

 Estaciones Climatológicas

 Estaciones Hidrológicas

Ilustración 14. Estaciones de la CAR

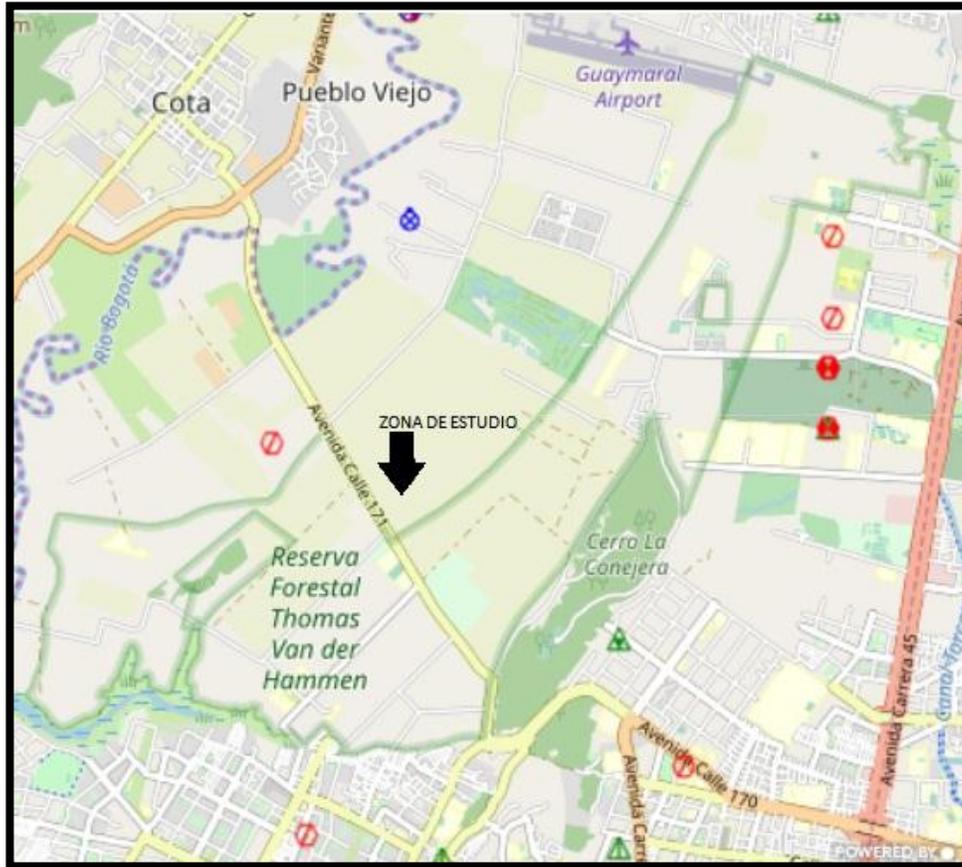


Fuente. Red Hidrometeorológica (CAR)

En la Ilustración 15 se muestran las estaciones cercanas a la zona de estudio pertenecientes al IDEAM, en donde se identificaron tres (3) tipos de estaciones; meteorológica, hidrológica y hidrometeorológica.

- Meteorológica ●
- Hidrológica ●
- Hidrometeorológica ●

Ilustración 15. Estaciones IDEAM



Fuente. www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion/catalogo-de-estaciones.

4.1.4.3 Información de las estaciones

Se presentan las características principales de las estaciones elegidas para realizar el estudio hidrológico, cabe destacar que en el sector de la zona de estudio se identificaron más estaciones, sin embargo, no se escogieron debido a que la fecha de instalación fue hace muy poco tiempo, por lo tanto, los datos que han tomado son de años muy recientes.

- **Estación: 2120559 - Apto Guaymaral (CAR)**

Esta estación se eligió, debido a que se encuentra cerca de la zona de estudio como se puede observar en la Ilustración 14, también se presentan más estaciones, pero en su mayoría son estaciones hidrológicas que están sobre el rio Bogotá..

Tabla 5. Estación Apto Guaymaral

Nombre	APTO GUAIMARAL
Código de Estación	2120559
Tipo	CONVENCIONAL
Clase	METEREOLOGICA
Categoría	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL
Estado	ACTIVA
Departamento	BOGOTA D.C
Municipio	BOGOTA D.C
Latitud	N 1023950
Longitud	E 1001550
Altitud	2560 m.s.n.m
Corriente	RIO BOGOTA
Fecha de Instalación	08-01-1965
Fecha de Suspensión	N/A

Fuente. Autores

- **Estación: 21206260 - C. Univ. Agrop – UDCA (IDEAM)**

Esta estación no es la más cercana de a la zona de estudio sin embargo es la que tiene una fecha de instalación más antigua que las demás, se encuentra ubicada al norte de la ciudad muy cerca de la reserva Tomas Van der Hammen.

Tabla 6. Estación C. Univ. Agro - UDCA

Nombre	C.UNIV.AGROP-UDCA
Código de Estación	21206260
Tipo	CONVENCIONAL
Clase	METEOREOLOGICA
Categoría	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
Estado	ACTIVA
Departamento	BOGOTA D.C
Municipio	BOGOTA D.C
Latitud	4.798639
Longitud	-74.049722
Altitud	2570
Corriente	BOGOTA
Fecha de Instalación	15-12-1988
Fecha de Suspensión	N/A

Fuente. Autores

- **Estación: 2120077 – Torca (CAR)**

Esta estación se eligió, debido a que se encuentra cerca de la zona de estudio como se puede observar en la Ilustración 14, además que de acuerdo al catálogo de estaciones de la CAR para el sector donde se realizar el estudio se presentan solo dos estaciones la cuales son Apto Guaymaral y Torca.

Tabla 7. Estación Torca

Nombre	Torca
Código de Estación	2120077
Tipo	CONVENCIONAL
Clase	METEREOLOGICA
Categoría	PLUVIOMETRICA
Estado	ACTIVA
Departamento	BOGOTA D.C
Municipio	BOGOTA D.C
Latitud	N 1021800
Longitud	E 1005320
Altitud	2579 m.s.n.m
Corriente	RIO BOGOTA
Fecha de Instalación	02-01-1960
Fecha de Suspensión	N/A

Fuente. Autores

4.1.4.4 Análisis Estadístico De Datos Hidrológicos

Para los datos hidrológicos entregados por las tres (3) estaciones nombradas anteriormente, se solicitaron datos de Precipitación Máxima En 24 Horas (mm) mensual des el año 1993 hasta el año 2017, manejando un rango de datos históricos de 25 años con el fin de tener suficiente información para la realización del estudio hidrológico, por otro lado para este estudio no se tuvo en cuenta el año 2018 y 2019 debido a que las series suministradas por el IDEAM y la CAR no se encontraban actualizadas para estos años, por lo que solo se contaban con datos hasta el mes de marzo del año 2018.

Para las series históricas suministradas por las tres (3) estaciones se eligió el valor más alto de precipitación mensual de cada año, teniendo como resultados los siguientes valores para cada estación.

Tabla 8. Precipitación Máxima Anual

AÑO	Estacion-2120077	Estacion-2120559	Estacion-21206260
	Valor Max (mm)	Valor Max (mm)	Valor Max (mm)
1993	56,0	31,0	39
1994	40,0	35,0	30,5
1995	40,0	48,0	40,2
1996	61,0	40,0	14,2
1997	75,0	39,0	24,2
1998	56,0	37,0	35
1999	47,0	41,0	50,4
2000	45,0	34,0	40
2001	31,0	44,0	30,9
2002	34,0	34,0	40,2
2003	51,0	61,0	60,2
2004	48,0	80,0	40,5
2005	40,0	27,0	38,4
2006	25,0	23,0	26,4
2007	40,0	37,0	40,3
2008	60,0	38,0	30,5
2009	81,0	51,0	50
2010	54,0	37,0	50,8
2011	54,0	47,0	41,2
2012	49,0	36,0	44
2013	46,0	34,0	33
2014	57,0	34,0	40
2015	44,0	59,0	53,9
2016	60,0	59,0	49,2
2017	57,0	57,0	29,2

Fuente. Autores

4.1.4.5 Verificación de la homogeneidad de los datos climatológicos.

Para el tratamiento estadístico de las series se requiere como condición principal, que los datos a trabajar tengan el mismo origen, obtenidos mediante procedimientos y métodos semejantes. Es decir que el valor de la variable observada, medida y

registrada no cambie en gran magnitud con los valores de las demás estaciones meteorológicas.

Los datos climatológicos que se presentan en cada una de las series suministradas cuentan con algún problema de medición desde el origen, por lo tanto, se tienen que realizar los ajustes o correcciones de las series, para este estudio se realizara con el método de dobles masas

4.1.4.6 Método de doble masas.

Este método se basa en realizar un análisis al comparar la lluvia anual o mensual acumulados de una estación base, con las precipitaciones anuales o mensuales, acumulada de otras estaciones o grupo de estaciones. Se grafica el acumulado promedio de las estaciones con el promedio acumulado de la estación base a la cual se presente verificar si los datos son homogéneos, si al graficar estas dos variables se presenta un cambio de pendiente, el cual solo puede deberse a causas diferentes a las meteorológicas.²¹

Tabla 9. Homogenización de datos

AÑO	Estacion-2120559		Estacion-21206260		Promedio	Estacion-2120077	
	Valor Max (mm)	Acumulado	Valor Max (mm)	Acumulado		Valor Max (mm)	Acumulado
2017	57,0	57,0	29,2	29,2	43,1	57,0	57,0
2016	59,0	116,0	49,2	78,4	97,2	60,0	117,0
2015	59,0	175,0	53,9	132,3	153,7	44,0	161,0
2014	34,0	209,0	40	172,3	190,7	57,0	218,0
2013	34,0	243,0	33	205,3	224,2	46,0	264,0
2012	36,0	279,0	44	249,3	264,2	49,0	313,0
2011	47,0	326,0	41,2	290,5	308,3	54,0	367,0
2010	37,0	363,0	50,8	341,3	352,2	54,0	421,0
2009	51,0	414,0	50	391,3	402,7	81,0	502,0
2008	38,0	452,0	30,5	421,8	436,9	60,0	562,0
2007	37,0	489,0	40,3	462,1	475,6	40,0	602,0
2006	23,0	512,0	26,4	488,5	500,3	25,0	627,0
2005	27,0	539,0	38,4	526,9	533,0	40,0	667,0
2004	80,0	619,0	40,5	567,4	593,2	48,0	715,0
2003	61,0	680,0	60,2	627,6	653,8	51,0	766,0
2002	34,0	714,0	40,2	667,8	690,9	34,0	800,0
2001	44,0	758,0	30,9	698,7	728,4	31,0	831,0
2000	34,0	792,0	40	738,7	765,4	45,0	876,0

²¹ Técnicas Estadísticas Aplicadas En El Manejo De Datos Hidrológicos Y Metereologicos (IDEAM). 1990. José Edgar Montealegre B.

Continuación de Tabla 9

AÑO	Estacion-2120559		Estacion-21206260		Promedio	Estacion-2120077	
	Valor Max (mm)	Acumulado	Valor Max (mm)	Acumulado		Valor Max (mm)	Acumulado
1999	41,0	833,0	50,4	789,1	811,1	47,0	923,0
1998	37,0	870,0	35	824,1	847,1	56,0	979,0
1997	39,0	909,0	24,2	848,3	878,7	75,0	1054,0
1996	40,0	949,0	14,2	862,5	905,8	61,0	1115,0
1995	48,0	997,0	40,2	902,7	949,9	40,0	1155,0
1994	35,0	1032,0	30,5	933,2	982,6	40,0	1195,0
1993	31,0	1063,0	39	972,2	1017,6	56,0	1251,0

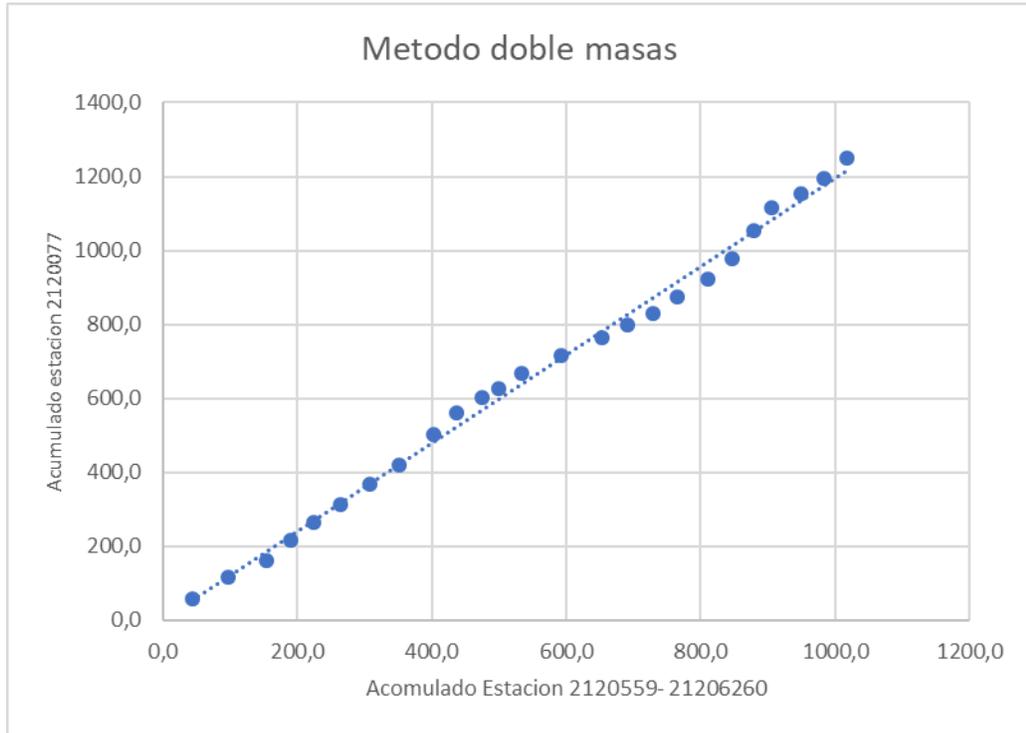
Fuente. Autores

En la Tabla 9 se realiza la verificación de los datos de acuerdo al método doble masas, se analizó los datos pluviométricos anuales de la estación 2120077, con los obtenidos en las estaciones 2120559 y 21206260 durante el periodo 1993-2017, las cuales como se explicó anteriormente se encuentran en el sector de estudio.

Para cada una de las estaciones de comparación o de referencia, se ordenan desde el año más cercano hasta el más lejano, se realiza el acumulado total sumando cada año uno por uno desde el año 1993 hasta el 2017 y luego se obtienen los valores promedio de estos valores acumulados y esta serie de datos obtenidos se tomó como base de comparación.

Posteriormente se realiza el mismo procedimiento con la estación problema y se construye el diagrama de dispersión mediante el software Excel o manualmente tomando en el eje x, la serie de datos obtenida de las estaciones base y en el eje y los valores de la estación problema.

Grafica 1. Método Doble Masas



Fuente. Autores

En la Grafica 1 se muestra el resultado de la serie de datos de las estaciones anteriormente expuestas, teniendo como resultado que los datos no presentan un cambio de pendiente de gran importancia lo que quiere decir que no es necesario hacer ninguna corrección en la estación 2120077, teniendo una serie de datos homogéneos para las estaciones escogidas para el estudio.

4.1.4.7 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo necesario de una gota de agua o precipitación se demora desde los límites de la hoya o cuenca en llegar a la salida de la misma.

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizaron varias fórmulas que se encuentran en el manual de drenajes para carreteras del INVIAS

- Ecuación de Kirpich

Ecuación 1. Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
 L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
 S: Pendiente total del cauce principal en (m/m)

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{3.32 \text{ km}}{0.0030^{0.5}} \right)^{0.77}$$

$$T_c = 1.56 \text{ horas}$$

- Ecuación de Temez

Ecuación 2. Temez

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
 L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
 S: Pendiente total del cauce principal en (%)

$$T_c = 0.30 \left(\frac{3.32 \text{ km}}{0.30^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$T_c = 0.94 \text{ horas}$$

- Ecuación de Johnstone y Cross

Ecuación 3. Johnstone y Cross

$$T_c = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
 L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
 S: Pendiente total del cauce principal en (m/km)

$$T_c = 2.6 \left(\frac{3.32 \text{ km}}{3.01^{0.5}} \right)^{0.5}$$

$$T_c = 3.59 \text{ horas}$$

- Ecuación de Giandotti

Ecuación 4. Giandotti

$$T_c = \frac{4 A^{0.5} + 1.50 L}{25.3 (L S)^{0.5}}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal en (m/m)
A: Área de la cuenca en (Km²)

$$T_c = \frac{4(5.96^{0.5})}{25.3(3.32 * 0.0030)^{0.5}}$$

$$T_c = 3.86 \text{ horas}$$

- Ecuación de SCS - Ramser

Ecuación 5. SCS - Ramser

$$T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal (m)

$$T_c = 0.947 \left(\frac{3.32^3}{10} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 1.56 \text{ horas}$$

- Ecuación de ventura - Heras

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal en (%)

$$T_c = 0.30 \left(\frac{3.32}{0.30^{0.25}} \right)^{0.75}$$

$$T_c = 0.92 \text{ horas}$$

- Ecuación de V.T. Chow

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal en (m/m)

$$T_c = 0.273 \left(\frac{3.32}{0.0030^{0.5}} \right)^{0.64}$$

$$T_c = 3.77 \text{ horas}$$

- Ecuación de Bransby - Willians

$$T_c = \frac{F * L}{A^{0.1} * S^{0.3}}$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (min)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal en (m/km)
A: Área en (Km²)
F: 58.5 si el área está en Km²

$$T_c = \frac{58.5 * 3.32}{5.96^{0.1} * 3.01^{0.3}}$$

$$T_c = 116.73 \text{ min}$$

$$T_c = 1.94 \text{ horas}$$

- Ecuación de Willians

$$T_c = 0.683 \left(\frac{L A^{0.40}}{D S^{0.25}} \right)$$

Donde: Tc: Tiempo de Concentración, en horas (horas)
L: Longitud del cauce en Kilómetros (km)

- S: Pendiente total del cauce principal en (0.30)
- A: Área en (Km²)
- D: Diámetro de la hoya Hidrológica.

Para determinar el tiempo de concentración con esta ecuación es necesario determinar el tiempo el diámetro de la cuenca, suponiendo que es circular se despeja el diámetro de la ecuación del área de un círculo en dónde.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Obtenido.

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A}$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * 5.96 \text{Km}^2} = 2.75 \text{Km}$$

Por lo tanto, el tiempo de concentración será:

$$T_c = 0.683 \left(\frac{3.32 * 5.96^{0.40}}{2.75 * 0.30^{0.25}} \right)$$

$$T_c = 2.27 \text{ horas}$$

Tabla 10. Tiempos de Concentración

Ecuación	Tiempo de concentración
Kirpich	1.56 Horas
Temez	0.94 Horas
Johnstone y Cross	3.59 Horas
Giandotti	3.86 Horas
SCS - Ramser	1.56 Horas
ventura - Heras	0.92 Horas
V.T. Chow	3.77 Horas

Continuación de Tabla 10

Ecuación	Tiempo de concentración
Bransby - Willians	1.94 Horas
Willians	2.27 Horas

Fuente. Autores.

Para la determinación del tiempo de concentración se emplearon todas las ecuaciones descritas en el manual de drenaje para carreteras del INVIAS, para lo cual dieron los valores expuestos en la tabla anterior, en donde se observa que para las ecuaciones de Kirpich, SCS y Bransby – Willians dieron valores cercanos a las 2 horas.

Por otro lado, para las ecuaciones de Johnstone y Cross, Giandotti, V.T. Chow y Willians dieron valores más elevados, aproximadamente el doble de tiempo que los nombrados anteriormente. También en las ecuaciones de Temez y Ventura, se obtuvieron valores muy bajos a comparación de los demás.

Se decidió tomar el tiempo de concentración calculado por la ecuación de Williams, gracias a la literatura se usa par cuencas con áreas menores a 75 km², además este tiempo es coherente con lo visto en campo.

$$\underline{T_c = 2.27 \text{ horas}}$$

Para facilidades del cálculo se aproxima a:

$$\underline{T_c = 2.27 \text{ horas}}$$

$$\underline{T_c = 136 \text{ min}}$$

4.1.4.8 Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Para el cálculo de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) se tomó como datos principales los de la estación 2120077- torca, ya que es la serie de datos más completa, también es la estación que más cerca se encuentra de nuestra zona de estudio.

Una vez se escogió la serie de datos con los que se calcularan las curvas IDF, en donde tenemos los valores máximos de precipitación que se obtuvieron en cada año desde 1993 hasta 2017. Posteriormente se calcula el promedio de la precipitación máxima en 24 horas, sumando las precipitaciones de todos los años y dividiéndola en la cantidad de años.

Ecuación 6

$$Ppccion\ prom = \frac{Ppccion\ max(1993) + Ppccion\ max(1994) + \dots + Ppccion\ max(n)}{25\ años} \quad (1)$$

Tabla 11. Precipitación Máxima Promedio

AÑO	Estacion-2120077
	Valor Max (mm)
2017	57,0
2016	60,0
2015	44,0
2014	57,0
2013	46,0
2012	49,0
2011	54,0
2010	54,0
2009	81,0
2008	60,0
2007	40,0
2006	25,0
2005	40,0
2004	48,0
2003	51,0
2002	34,0
2001	31,0
2000	45,0
1999	47,0
1998	56,0
1997	75,0
1996	61,0
1995	40,0
1994	40,0
1993	56,0
Valor promedio	50,0

Fuente. Autores

En la Tabla 11 se realiza el cálculo de la precipitación máxima promedio en 24 horas de todos los años, obteniendo como resultado una precipitación de 50,0 mm/h.

4.1.4.9 Periodos de retorno.

Para los periodos de retorno se consultó del manual de drenajes viales de INVIAS, en donde nos muestra los periodos de retorno que se deben adoptar para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial, en donde nos muestra en la tabla 2.8- periodos de retorno de diseños en obras de drenaje vial.

Ilustración 16. periodos de retorno para drenaje en carreteras.

Tabla 2.8. - Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Notas: ¹ El periodo de retorno de diseño de las obras podrá variarse, a juicio del ingeniero Consultor, para casos especiales, debidamente justificados.

² En caso de que los taludes de corte de la vía sean inestables se podrá incrementar este periodo de retorno, a juicio del ingeniero Consultor.

Fuente. Manual de drenaje para carretera. INVIAS. 2009

4.1.4.10 Intensidad

La intensidad es la tasa de lluvia en mm por un periodo de tiempo para una cuenca, la cual se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño.²²

Para el cálculo de la intensidad se utiliza la metodología simplificada del cálculo de las curvas de intensidad – duración – frecuencia expuesto en el manual de drenajes

²² Consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. Manuela Otalvaro Barco. Trabajo de grado. 2016

para carreteras (INVIAS), ya que contamos con datos históricos de precipitación, por lo tanto, para Colombia se propone la siguiente ecuación.

Ecuación 7

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{\frac{t^c}{60}}$$

Fuente. Manual de drenaje para carreteras (INVIAS)

Donde:

I: Intensidad de precipitación (mm/h)

T: Periodo de retorno, en años.

t: Duración de la lluvia de diseño (min)

M: Promedio multianual de la precipitación máxima anual en 24 horas

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión (ver Tabla 12)

Tabla 12. valores de los coeficientes a, b, c, d para el cálculo de las curvas IDF

REGION	a	b	C	D
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquia	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente. Manual para drenajes en carreteras. INVIAS. 2009

Tabla 13. Intensidad para diferentes periodos de retorno.

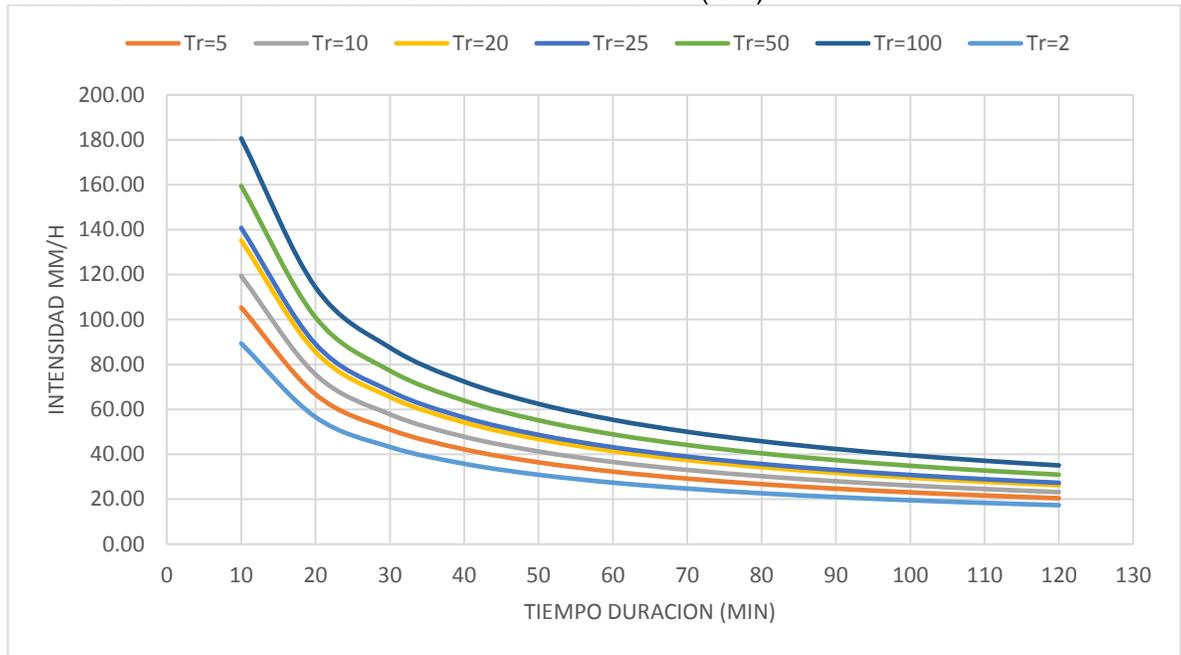
Duración (Min)	Periodo de retorno (Años)						
	2	5	10	20	25	50	100
10	89,34	105,36	119,36	135,22	140,76	159,47	180,66
20	56,54	66,68	75,54	85,58	89,08	100,92	114,33
30	43,27	51,02	57,80	65,48	68,17	77,23	87,49
40	35,78	42,20	47,81	54,16	56,38	63,87	72,36
50	30,88	36,42	41,26	46,74	48,66	55,12	62,45
60	27,38	32,29	36,58	41,44	43,14	48,88	55,37
70	24,73	29,17	33,04	37,43	38,97	44,15	50,01
80	22,65	26,71	30,26	34,28	35,68	40,42	45,79
90	20,95	24,71	27,99	31,71	33,01	37,40	42,37
100	19,55	23,05	26,11	29,58	30,80	34,89	39,52
110	18,35	21,64	24,52	27,78	28,92	32,76	37,11
120	17,33	20,44	23,15	26,23	27,30	30,93	35,04
130	16,44	19,38	21,96	24,88	25,90	29,34	33,24
136	15,96	18,82	21,32	24,15	25,14	28,48	32,26

Fuente. Autores

En la Tabla 13 se realiza los cálculos de intensidad para diferentes periodos de retorno con el fin de realizar las curvas de intensidad, duración y frecuencia, que se muestran a continuación en el Grafica 2

Se realizo hasta una duración de 120 min debido a que el tiempo de concentración dio esa duración, que es lo que tarda una gota de agua en recorrer todo el vallado, se puede observar que las intensidades son altas por lo tanto los caudales serán elevados.

Grafica 2. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)



Fuente. Autores

En la gráfica anterior se muestra las curvas IDF para diferentes periodos de retorno, para una duración de 136 minutos que fue el valor del tiempo de concentración calculado anteriormente.

4.1.4.11 Determinación de caudales.

Para la determinar los caudales producidos por la precipitación que caen sobre la zona de estudio, con el fin de realizar la modelación hidráulica en HEC – RAS. Los caudales se calcularon mediante un modelo en HEC-HMS, el cual es un modelo lluvia escorrentía y se utiliza cuando no existe la posibilidad de tener datos de caudales directamente en las hoyas hidrográficas, estos modelos se caracterizan por calcular la escorrentía superficial de la zona de estudio.

Con el software HEC-HMS podemos convertir series históricas de lluvia que caen sobre la hoya hidrográfica y con las características geométricas y físicas, como lo son la geometría, tipo suelo, vegetación presente en la zona, se calcula el caudal máximo de escorrentía superficial sobre la hoya hidrográfica. Se decidió utilizar este programa ya que en numeral 2.5.5.1 del manual de drenajes para carreteras del INVIAS dice que para cuencas que superen un área de 2,5 km² se usaran programas como (HEC-1 o HEC- HMS), en donde se realizara por el método de hidrogramas unitarios.

4.1.4.12 Hietogramas de diseño

Para realizar la modelación en el programa es necesario determinar los hietogramas que respondan a los requerimientos específico de la obra a desarrollar, en cuanto a periodos de retorno, frecuencia, etc. Uno de los métodos más usados es el del bloque alterno.

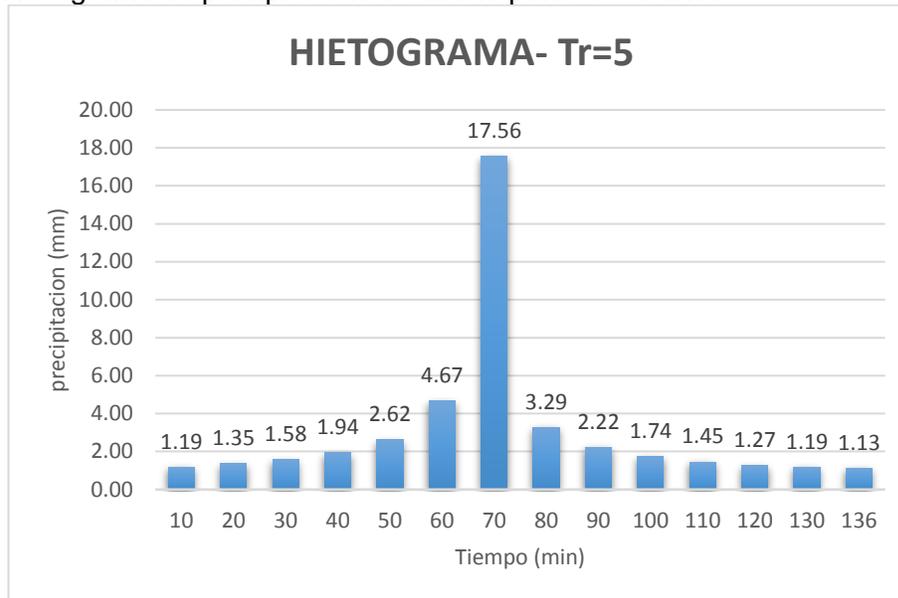
Se convirtieron los datos obtenidos en las curvas IDF, con el fin de obtener la lluvia de diseño en diferentes periodos de retorno, además que para calcular el hidrograma unitario es necesario la lluvia de diseño. Por otro lado, los periodos de retorno que se trabajaron fueron de 5, 10, 20 y 50 años.

Tabla 14. Hietograma de lluvia de diseño $T_r = 5$ años

Tr=5			
Lluvia acumulada (mm)	Lluvia neta (mm)	d (min)	Lluvia Neta ordenada (mm)
17,56	17,56	10	1,19
22,23	4,67	20	1,35
25,51	3,29	30	1,58
28,13	2,62	40	1,94
30,35	2,22	50	2,62
32,29	1,94	60	4,67
34,03	1,74	70	17,56
35,61	1,58	80	3,29
37,06	1,45	90	2,22
38,42	1,35	100	1,74
39,68	1,27	110	1,45
40,87	1,19	120	1,27
42,00	1,13	130	1,19
42,65	0,65	136	1,13

Fuente. Autores

Grafica 3. Hietograma de precipitación de diseño para Tr = 5 años



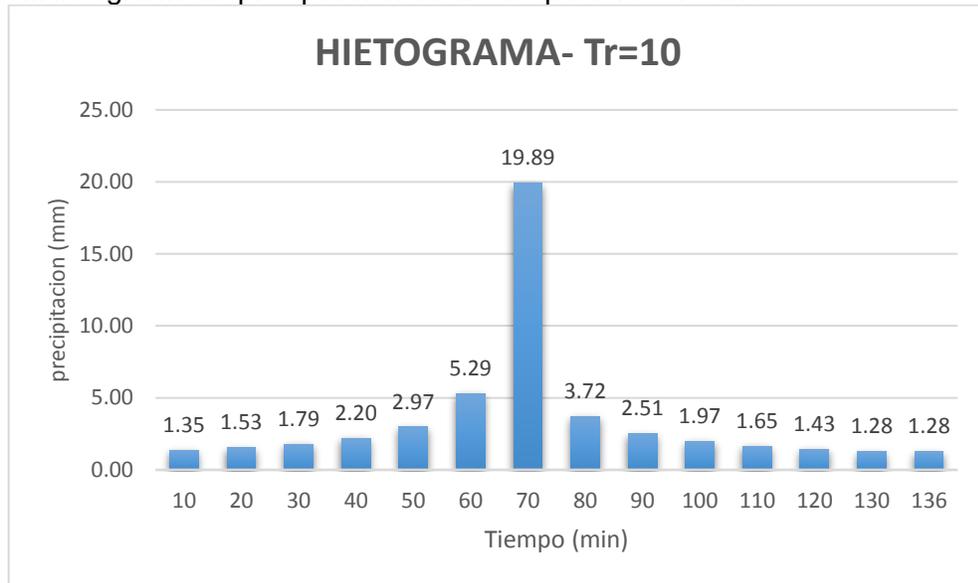
Fuente. Autores.

Tabla 15. Hietograma de lluvia de diseño Tr = 10 años

Tr=10			
Lluvia acumulada (mm)	Lluvia neta (mm)	d (min)	Lluvia Neta ordenada (mm)
19,89	19,89	10	1,35
25,18	5,29	20	1,53
28,90	3,72	30	1,79
31,87	2,97	40	2,20
34,38	2,51	50	2,97
36,58	2,20	60	5,29
38,55	1,97	70	19,89
40,34	1,79	80	3,72
41,99	1,65	90	2,51
43,52	1,53	100	1,97
44,95	1,43	110	1,65
46,30	1,35	120	1,43
47,58	1,28	130	1,35
48,32	0,74	136	1,28

Fuente. Autores.

Grafica 4.Hietograma de precipitación de diseño para Tr = 10 años



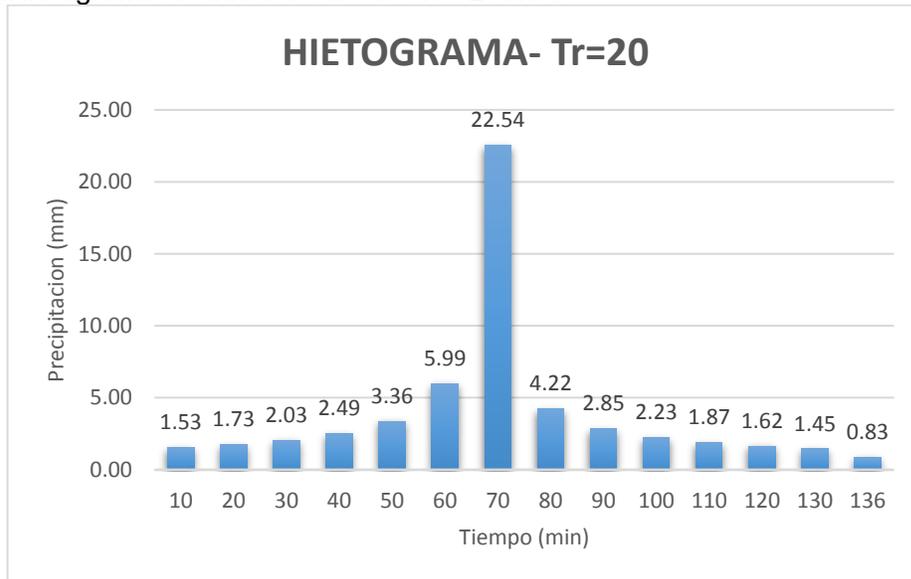
Fuente. Autores.

Tabla 16.Hietograma de lluvia de diseño Tr =20años

Tr=20			
Lluvia acumulada (mm)	Lluvia neta (mm)	d (min)	Lluvia Neta ordenada (mm)
22,54	22,54	10	1,53
28,53	5,99	20	1,73
32,74	4,22	30	2,03
36,11	3,36	40	2,49
38,95	2,85	50	3,36
41,44	2,49	60	5,99
43,67	2,23	70	22,54
45,70	2,03	80	4,22
47,57	1,87	90	2,85
49,30	1,73	100	2,23
50,93	1,62	110	1,87
52,46	1,53	120	1,62
53,90	1,45	121	1,53
54,74	0,83	122	1,45

Fuente. Autores.

Grafica 5.Hietograma de lluvia de diseño Tr =20años



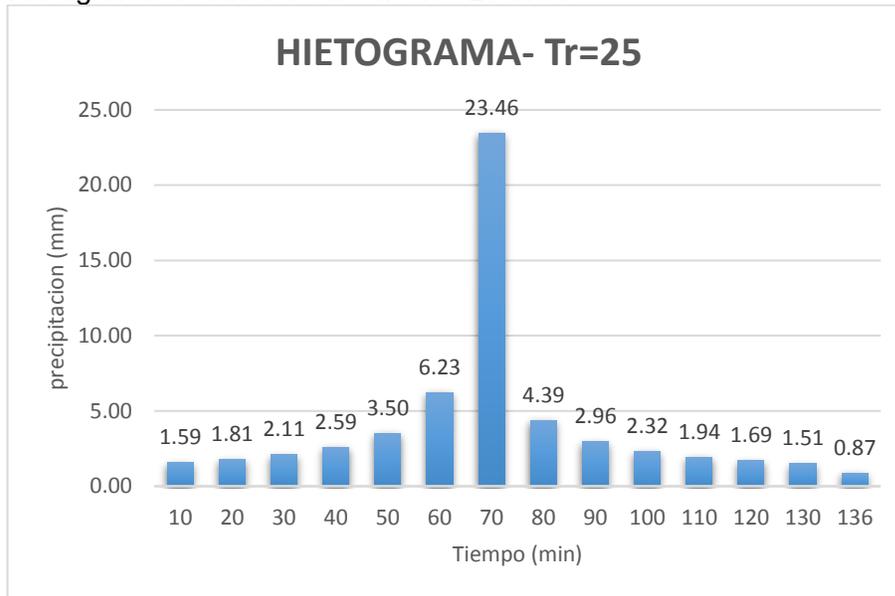
Fuente. Autores.

Tabla 17.Hietograma de lluvia de diseño Tr =25años

Tr=25			
Lluvia acumulada (mm)	Lluvia neta (mm)	d (min)	Lluvia Neta ordenada (mm)
23,46	23,46	10	1,59
29,69	6,23	20	1,81
34,08	4,39	30	2,11
37,59	3,50	40	2,59
40,55	2,96	50	3,50
43,14	2,59	60	6,23
45,46	2,32	70	23,46
47,58	2,11	80	4,39
49,52	1,94	90	2,96
51,33	1,81	100	2,32
53,02	1,69	110	1,94
54,61	1,59	120	1,69
56,11	1,51	121	1,59
56,98	0,87	122	1,51

Fuente. Autores.

Grafica 6. Hietograma de lluvia de diseño Tr =25 años



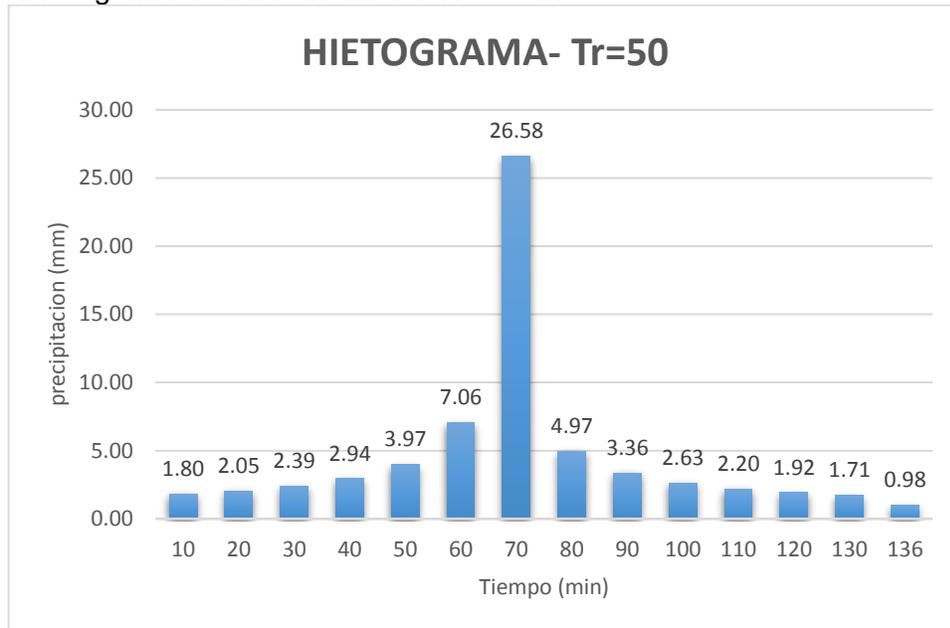
Fuente. Autores.

Tabla 18.Hietograma de lluvia de diseño Tr =50 años

Tr=50			
Lluvia acumulada (mm)	Lluvia neta (mm)	d (min)	Lluvia Neta ordenada (mm)
26,58	26,58	10	1,80
33,64	7,06	20	2,05
38,61	4,97	30	2,39
42,58	3,97	40	2,94
45,94	3,36	50	3,97
48,88	2,94	60	7,06
51,51	2,63	70	26,58
53,90	2,39	80	4,97
56,10	2,20	90	3,36
58,15	2,05	100	2,63
60,06	1,92	110	2,20
61,86	1,80	120	1,92
63,57	1,71	121	1,80
64,55	0,98	122	1,71

Fuente. Autores.

Grafica 7. Hietograma de lluvia de diseño Tr =50 años



Fuente. Autores.

Los valores obtenidos en los hietogramas calculados anteriormente serán colocados en el programa HEC-HMS para realizar la modelación y determinar los caudales máximos para cada periodo de retorno propuesto.

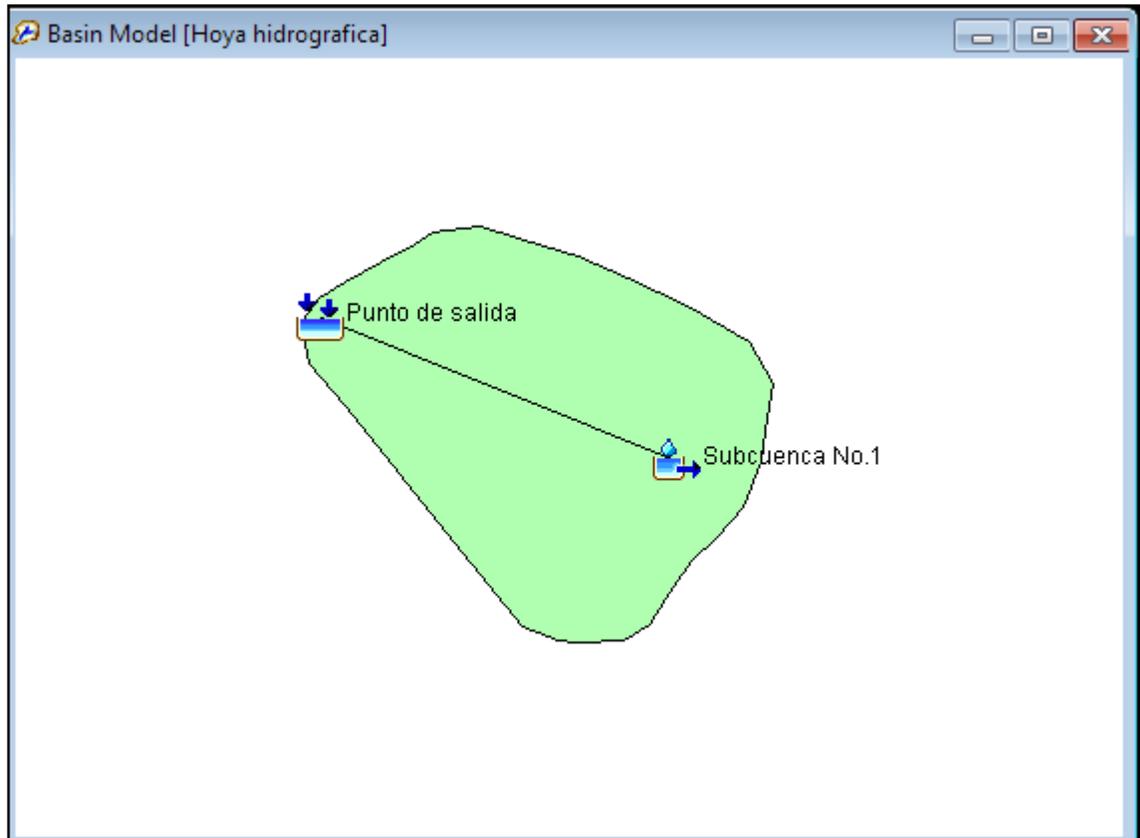
4.1.4.13 Modelación en HEC-HMS

Para el desarrollo de la modelación se necesitaron de los siguientes datos.

- Área de la hoya hidrográfica
- Tiempo de concentración
- Coeficiente de infiltración
- Método a desarrollar
- Hietogramas para periodos de retorno de 5,10,20,25 y 50 años

En la Ilustración 17 se muestra el modelo que se realizó en HEC-HMS en donde se observa la cueca dimensionada en ArcGIS y se puso una subcuenca No.1 con un punto de salida aproximadamente en el mismo lugar que se encuentra la desembocadura del vallado en el río Bogotá, se conectaron los dos puntos simulando el vallado principal de estudio, sin embargo cabe aclarar que este modelo es simplemente para tener una referencia ya que su ubicación no afecta en nada los cálculos finales determinados por el programa HEC-HMS.

Ilustración 17. Modelo de la cuenca en HEC-HMS

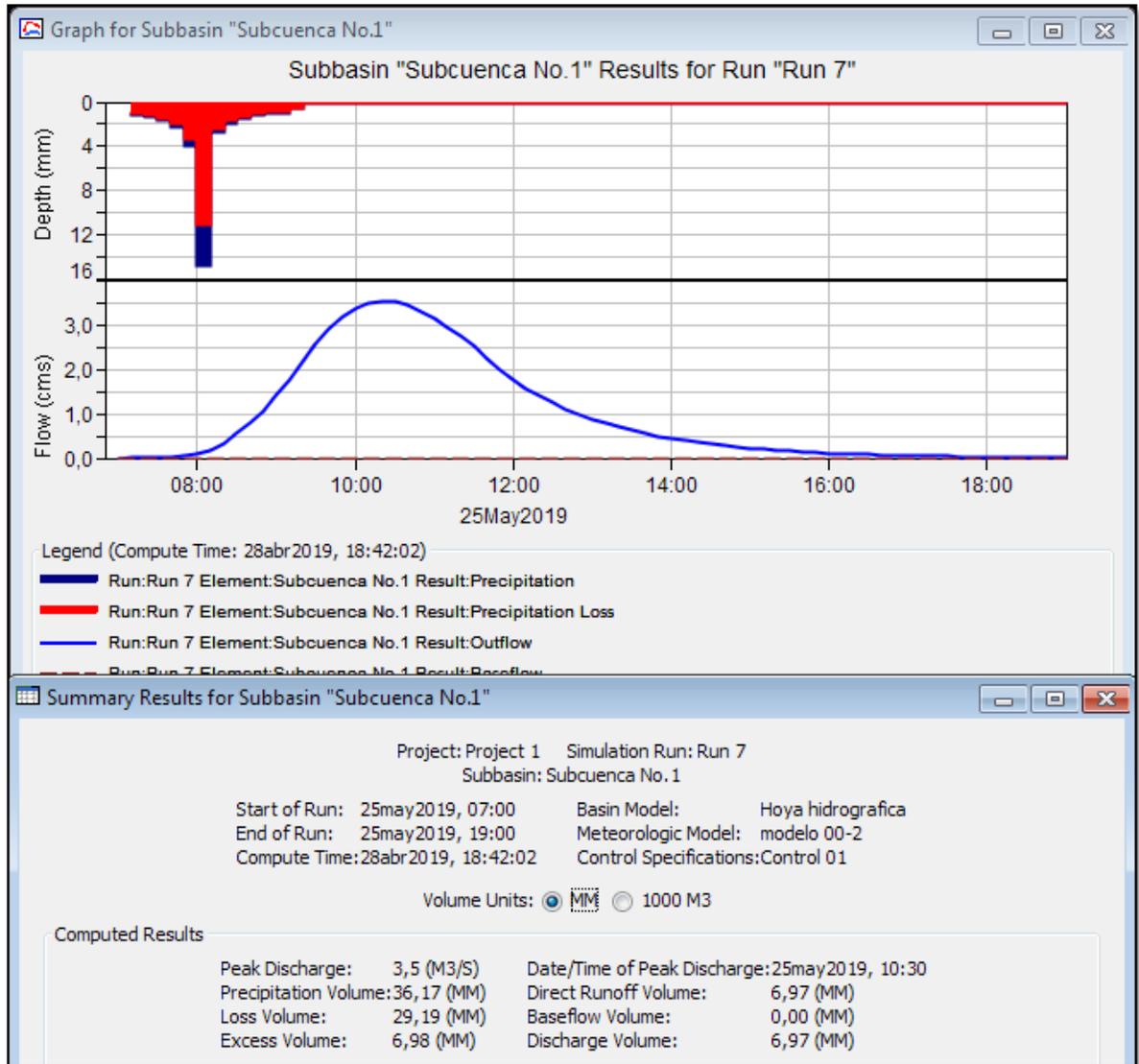


Fuente. Autores

A Continuación, se mostrarán los resultados de las modelaciones realizadas, en donde se observará el caudal máximo para el periodo de retorno evaluado, las pérdidas de precipitación.

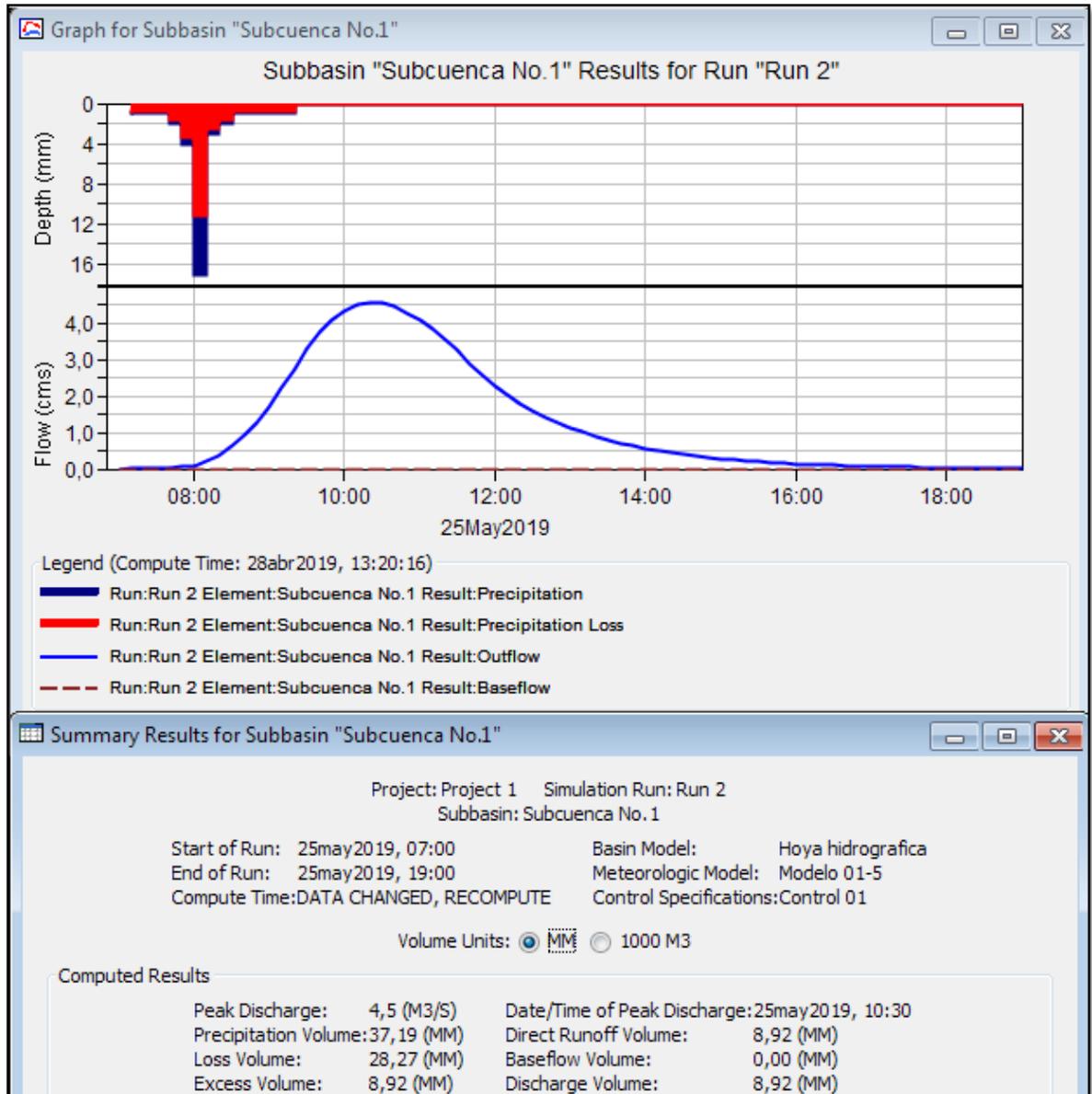
Por otro lado, se simulo una lluvia durante 12 horas con el fin de observar perfectamente el hidrograma que arroja el programa.

Ilustración 18. Modelación en HEC_HMS Tr=2 años



Fuente. Autores.

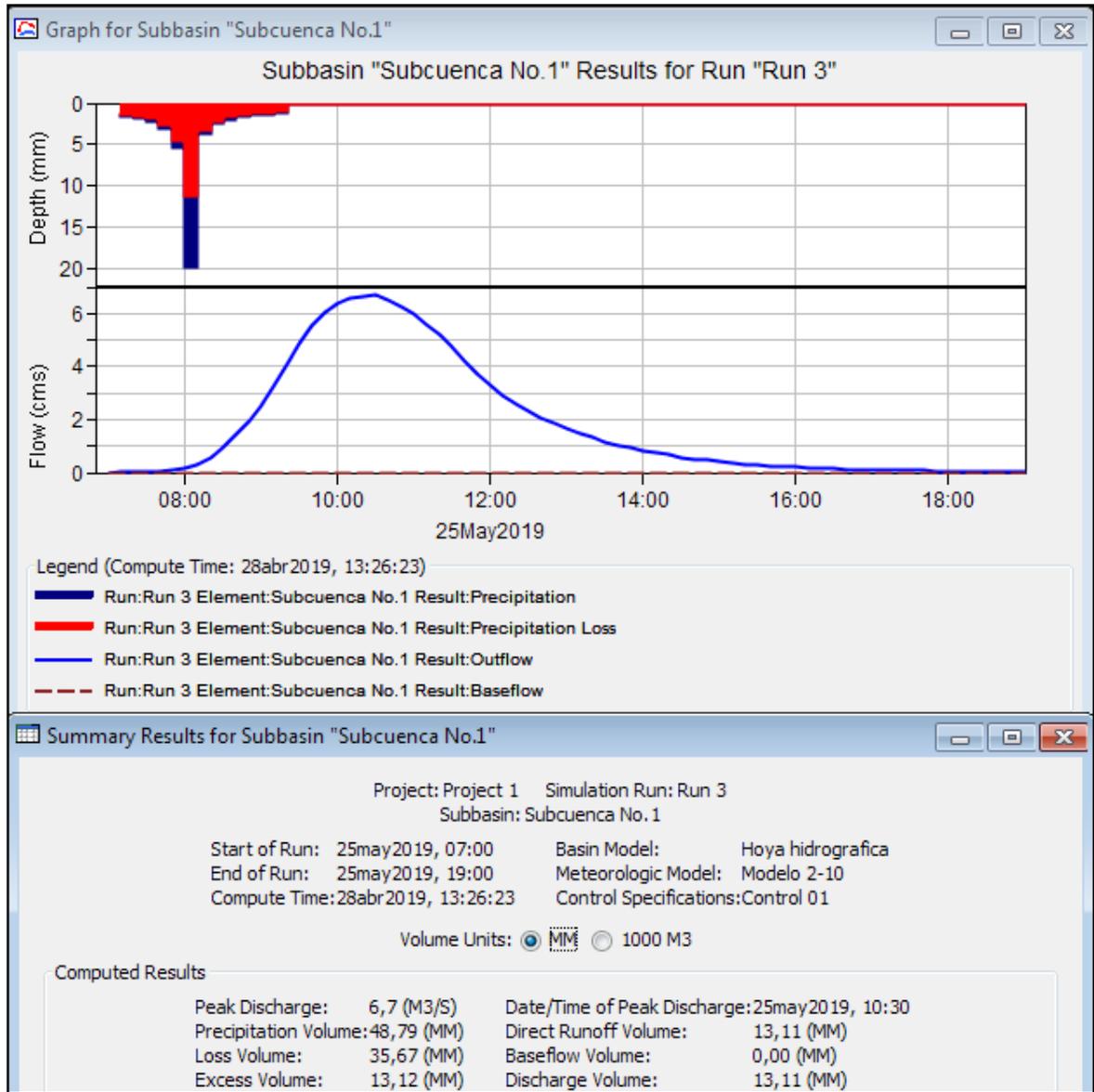
Ilustración 19. Modelación en HEC_HMS Tr=5 años



Fuente. Autores.

En la Ilustración 19 se observa los resultados obtenidos al realizar la modelación, en donde se observa que el caudal pico o máximo es de 4.5 m³/s, también se observa en el diagrama que arroja HEC -HMS que muestra en rojo las pérdidas de precipitación de la zona evaluada, que indica que hay gran cantidad de pérdidas de precipitación en el sector. Por otro, lado en la tabla de resultados del HEC-HMS muestra que la perdida de precipitación es de 28,27 mm

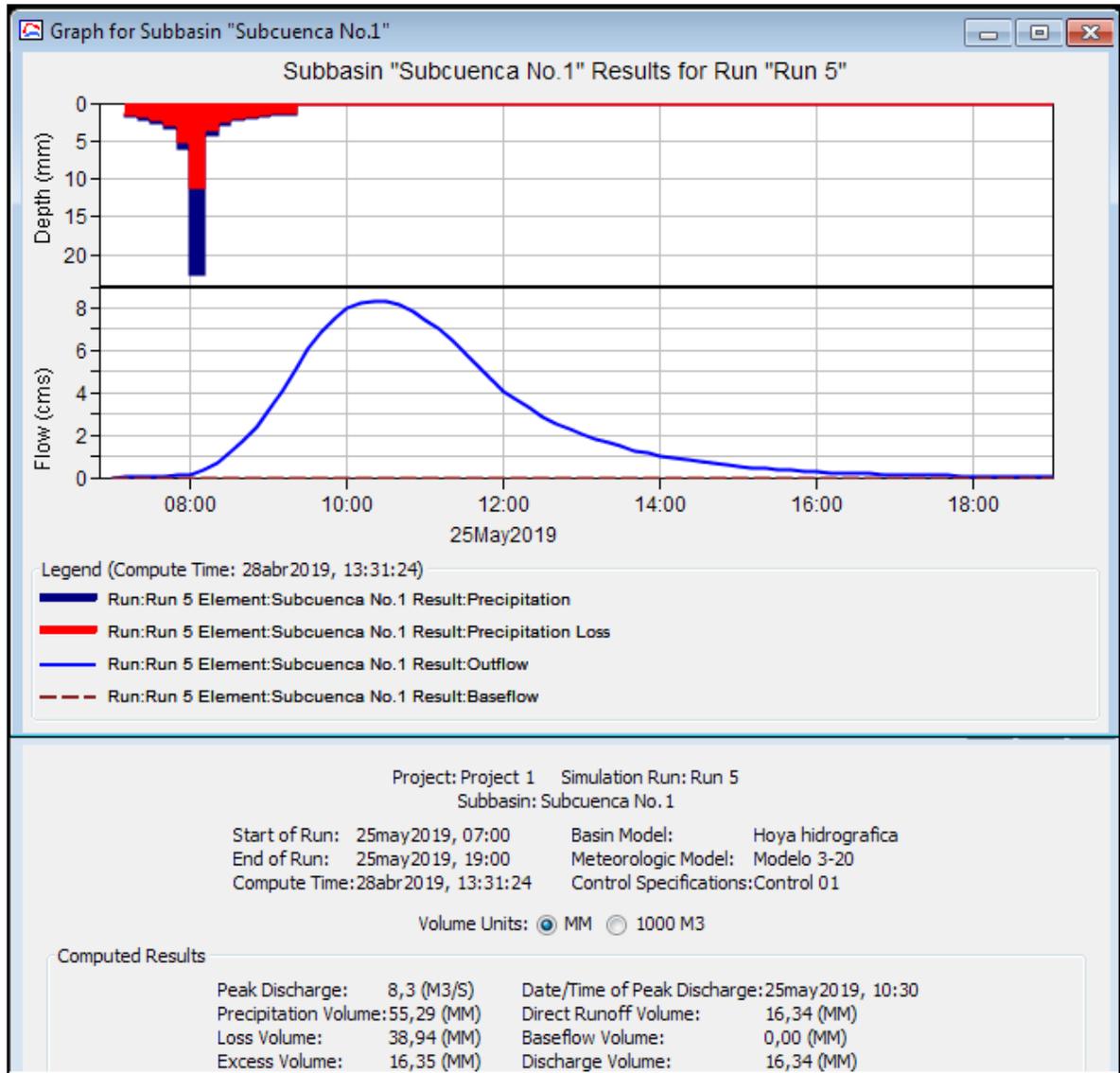
Ilustración 20. Modelación en HEC_HMS Tr=10 años



Fuente. Autores.

En la Ilustración 20 se observa los resultados obtenidos al realizar la modelación, en donde se observa que el caudal pico o máximo es de 6.7 m³/s

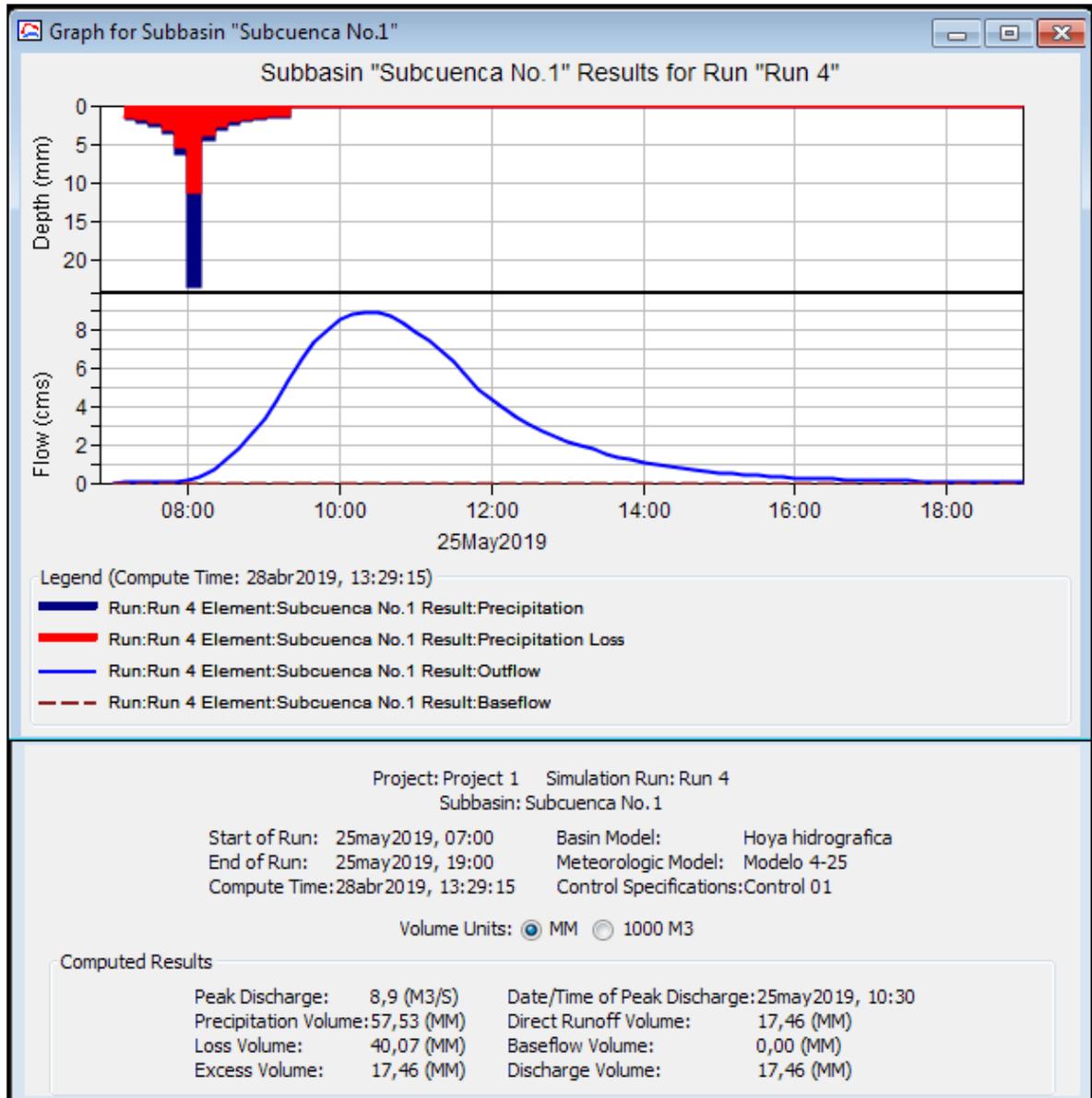
Ilustración 21. Modelación en HEC-HMS Tr=20 años



Fuente. Autores.

En la Ilustración 21 se observa los resultados obtenidos al realizar la modelación, en donde se observa que el caudal pico o máximo es de 8.3 m³/s, también aumenta las pérdidas de la precipitación.

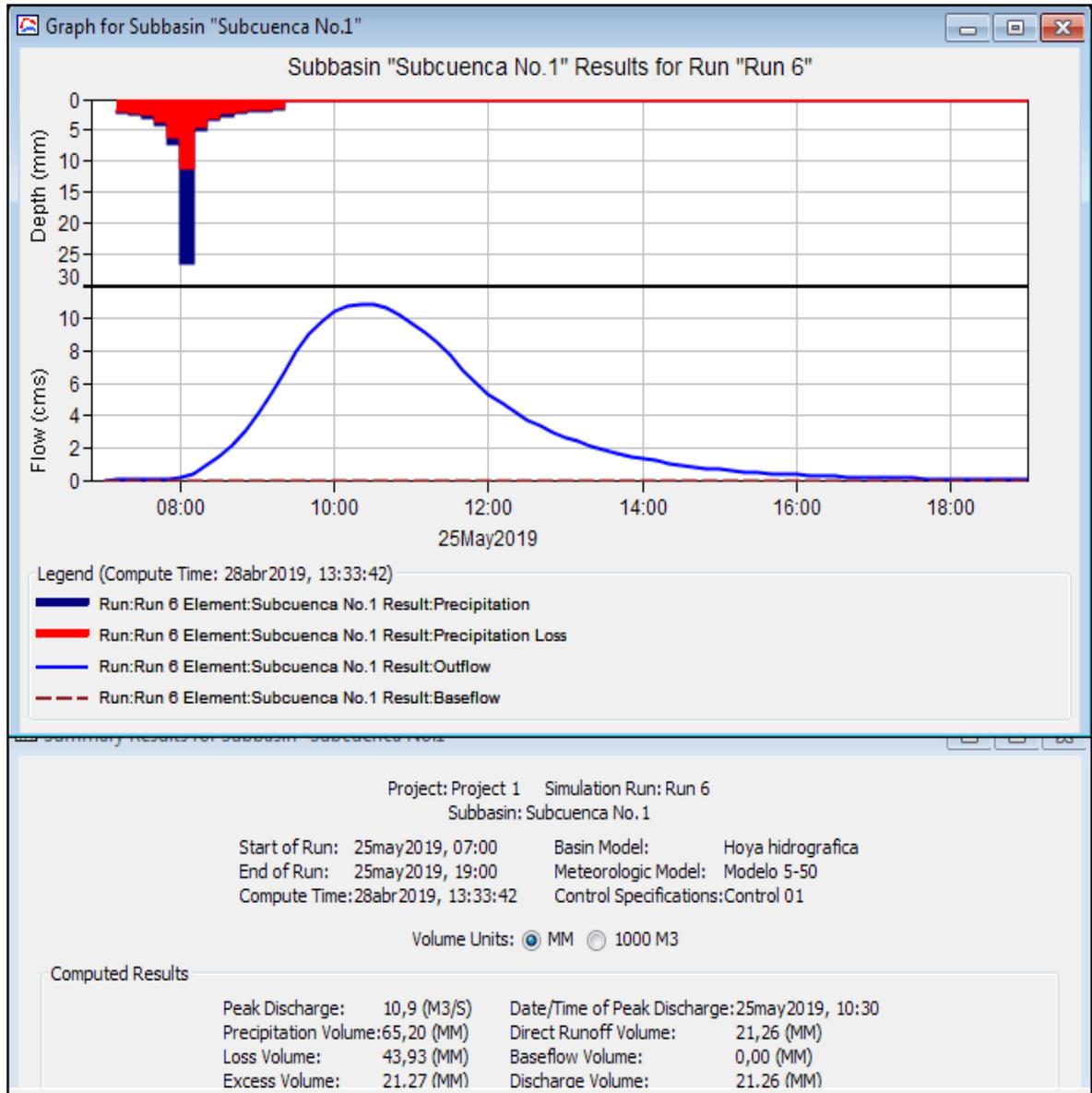
Ilustración 22. Modelación en HEC-HMS Tr=25 años



Fuente. Autores.

En la Ilustración 22 se observa los resultados obtenidos al realizar la modelación, en donde se observa que el caudal pico o máximo es de 8.9 m³/s.

Ilustración 23. Modelación en HEC-HMS Tr=50 años



Fuente. Autores.

En la Ilustración 23 se observa los resultados obtenidos al realizar la modelación, en donde se observa que el caudal pico o máximo es de 10,9 m³/s.

4.1.4.14 Caudales Máximos Diseño reserva actualmente

Se presentan los caudales obtenidos para la zona actualmente, decir para la reserva sin ser realinderada, se tomó un porcentaje (%) de impermeabilidad del 15 % ya que dentro de la zona se encuentran varias empresas y parqueaderos que aproximadamente equivales al 0.894 km² de área total de la cuenca.

Por otro lado, luego de haber realizado la modelación en HEC-RAS, Como se puede observar estos caudales son grande, sin embargo, hay que tener encuentra que el área de la hoya hidrográfica es amplia, además la conexión que tiene el vallado de la avenida la conejera con los que se encuentran al interior de la reserva hace que el flujo del agua en este sector sea considerablemente alto.

Tabla 19.Caudales Máximos para la zona actualmente

CAUDAL (m ³ /s)	Tr (Años)
3,5	2
4.5	5
6.7	10
8.3	20
8.9	25
10.9	50

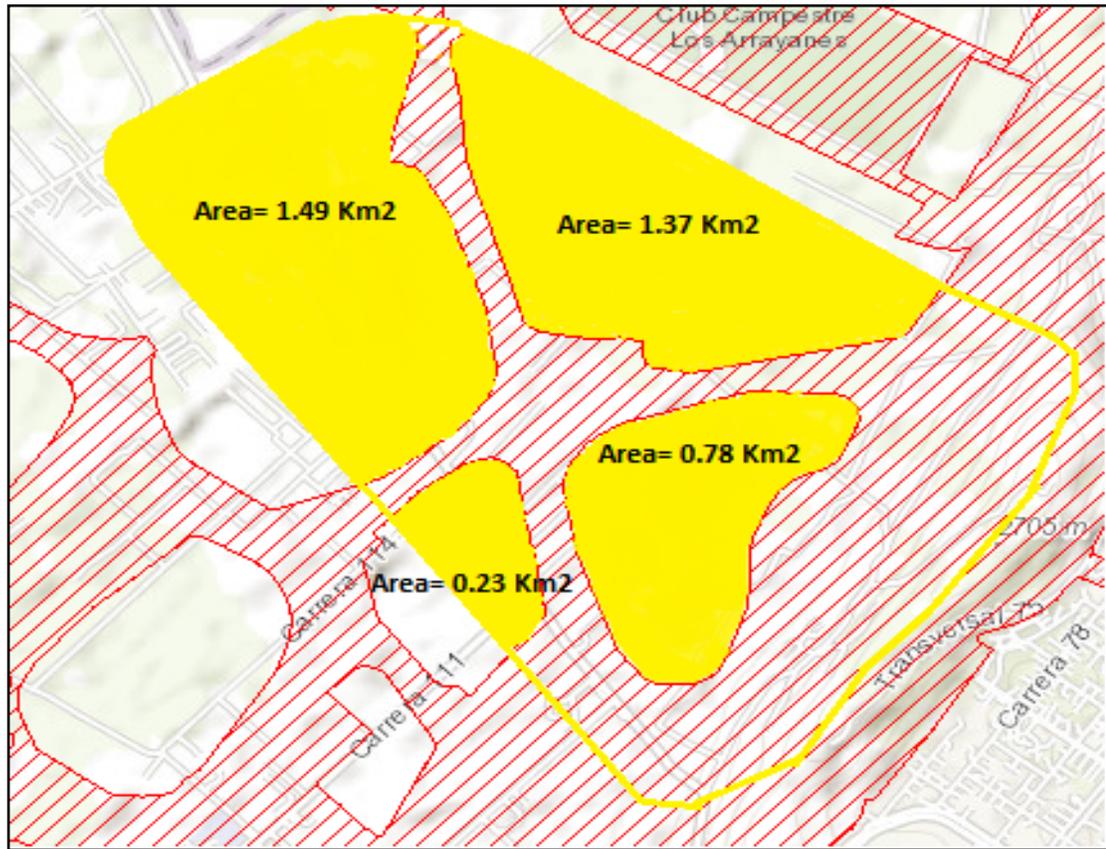
Fuente. Autores

4.1.4.15 Modelación HEC-HMS de la reserva realinderada

Se realizo el mismo procedimiento del numeral 4.1.4.13, correspondiente a la modelación en HEC-HMS, las características físicas de la cuenca no cambian sin embargo, para este caso se realizó la modelación con un porcentaje de impermeabilidad mayor debido a que una vez realinderada la reserva Tomas Van Der Hammen, las zonas construidas serán mucho mayores a las que se tienen actualmente ocasionando que una parte del agua lluvia no se infiltre, por lo tanto aumentaran los caudales que tendrán que ser conducidos por el vallado principal.

En la Ilustración 24 se muestra el área aproximada de la hoya hidrográfica en la que se construirán urbanizaciones, respecto a la nueva realinderacion de la reserva, se observa que el área que se dispondrá para posibles construcciones es muy grande mas del 50 % del área total. (Ver Anexo No.2)

Ilustración 24. Área de Zonas duras con la nueva realinderación de la RTVDH



Fuente. Reserva Tomas Van der Hammen. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

-  Hoya hidrográfica
-  Zonas destinadas a nuevas construcciones.
-  Zonas destinadas para la nueva reserva.

- Área Total destinadas para nuevas construcciones: 3.87 Km²
- Área Total de la hoya hidrográfica: 5.96 Km²

Teniendo estas dos áreas podemos calcular el porcentaje de zonas destinadas para urbanizaciones, respecto a el área total de la hoya hidrográfica propuesta anteriormente, el porcentaje obtenido sería el mismo porcentaje impermeable. Es decir que las zonas que se encuentran en amarillo en la Ilustración 24, serán las áreas impermeables.

$$\% \text{ de impermeabilidad} = \frac{\text{Area Total Impermeable}}{\text{Area total de la Hoya}} \times 100$$

$$\% \text{ de impermeabilidad} = \frac{3.87 \text{ Km}^2}{5.96 \text{ Km}^2} \times 100$$

$$\% \text{ de impermeabilidad} = 64.93 \%$$

4.1.4.16 Caudales máximos de diseño para la reserva realinderada

Se realiza la modelación en el software HEC- HMS cambiando el porcentaje de impermeabilidad de la cuenca, se realiza el mismo procedimiento anteriormente visto (Ver Anexo No.3).

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 20.Caudales Máximos para la zona actualmente

CAUDAL (m³/s)	Tr (Años)
12	2
14,7	5
16,9	10
19.4	20
20,3	25
23.3	50

Fuente. Autores

4.2 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Se realizó un balance hídrico para la zona de estudio, en donde se tiene como estructura principal, el vallado que se encuentra en la avenida la conejera, costado norte. Para lo cual se utilizaron los valores de la precipitación máxima en 24 horas de la estación 2120077-Torca. Anteriormente se usaron los valores que arroja esta estación para el cálculo de los caudales de diseño.

4.2.1 Valores Totales Mensuales De Precipitación (mm)

Se realizó el promedio de los valores que se tienen en la estación 2120559-Apt Guaymaral para cada mes desde el año 1993 hasta el año 2018, obteniendo los siguientes valores.

Tabla 21. Precipitación Total Promedio Mensual

PRECIPITACION TOTAL MESUAL PROMEDIO (mm)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ppcion TotalProm (mm)	74,80	79,96	108,63	120,90	108,21	73,19	72,10	56,21	80,55	138,82	135,55	64,58

Fuente. Autores.

4.2.2 Evaporación total Promedio Mensual

Se solicitaron valores totales mensuales de evaporación (mm) de la estación 2120559, para los cuales se realizó el promedio de estos valores desde el año 1993 hasta 2018, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 22. Evaporación Total Promedio Mensual

EVAPORACION TOTAL MESUAL PROMEDIO (mm)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVP Total Prom (mm)	92,5	83,5	84,2	76,4	68,8	62,2	70,7	68,1	74,1	70,2	72,8	80,7

Fuente. Autores

4.2.3 Evapotranspiracion

Para el cálculo de la Evapotranspiración se utilizó la Ecuación de Thornthwaite, la cual tiene como variable necesaria para el cálculo la temperatura media mensual, por lo tanto, se solicitaron los datos de la temperatura media de la estación 2120559 desde el año 1993 hasta 2018. Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 23. Temperatura Media Mensual.

TEMPERATURA MEDIAL PROMEDIO (°C)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TEMP MED (°C)	13,98	14,11	14,83	14,82	14,44	12,60	13,12	13,40	13,77	13,85	13,98	13,19

Fuente. Autores

4.2.3.1 Cálculo de la Evapotranspiración.

Para el cálculo de la Evapotranspiración por la ecuación de Thornthwaite, se realizan las siguientes operaciones.

- a) Determinar el índice de calor mensual.

$$i = \left(\frac{t}{S} \right)^{1,514}$$

- b) Determinar el índice de calor anual

$$I = \sum i$$

- c) Determinar la ET mensual – sin corregir

$$ET_{(\text{sin corregir})} = 16 \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0,49239$$

- d) Realizar Corrección para el número de días del mes

$$ET = ET_{(\text{sin corregir})} * \frac{N}{12} * \frac{a}{30}$$

Tabla 24. Cálculo de la Evapotranspiración

MES	TEMP MED MEN	INDICE DE CALOR MENS	ET (Sin Corregir)	N	N/12	D	D/30	ET(mm/mes)
Ene	13,98	4,74	56,09	12,15	1,0125	31	1,03	58,68
Feb	14,11	4,81	56,80	12,05	1,004167	28	0,93	53,23
Mar	14,83	5,18	60,82	12,10	1,008333	31	1,03	63,37
Abr	14,82	5,18	60,79	12,05	1,004167	30	1,00	61,05
May	14,44	4,98	58,66	12,03	1,002083	31	1,03	60,74
Jun	12,60	4,05	48,66	12,00	1	30	1,00	48,66
Jul	13,12	4,31	51,43	11,98	0,997917	31	1,03	53,04
Ago	13,40	4,45	52,96	11,95	0,995833	31	1,03	54,49
Sep	13,77	4,64	54,95	11,93	0,99375	30	1,00	54,61
Oct	13,85	4,67	55,36	11,90	0,991667	31	1,03	56,73
Nov	13,98	4,74	56,10	11,88	0,989583	30	1,00	55,52
Dic	13,19	4,34	51,79	11,85	0,9875	31	1,03	52,85

Fuente. Autores.

4.2.4 Balance Hídrico

Una vez calculado todas las variables necesarias para realizar el balance hídrico adecuado, en donde se tiene que la precipitación promedio mensual es el aportante,

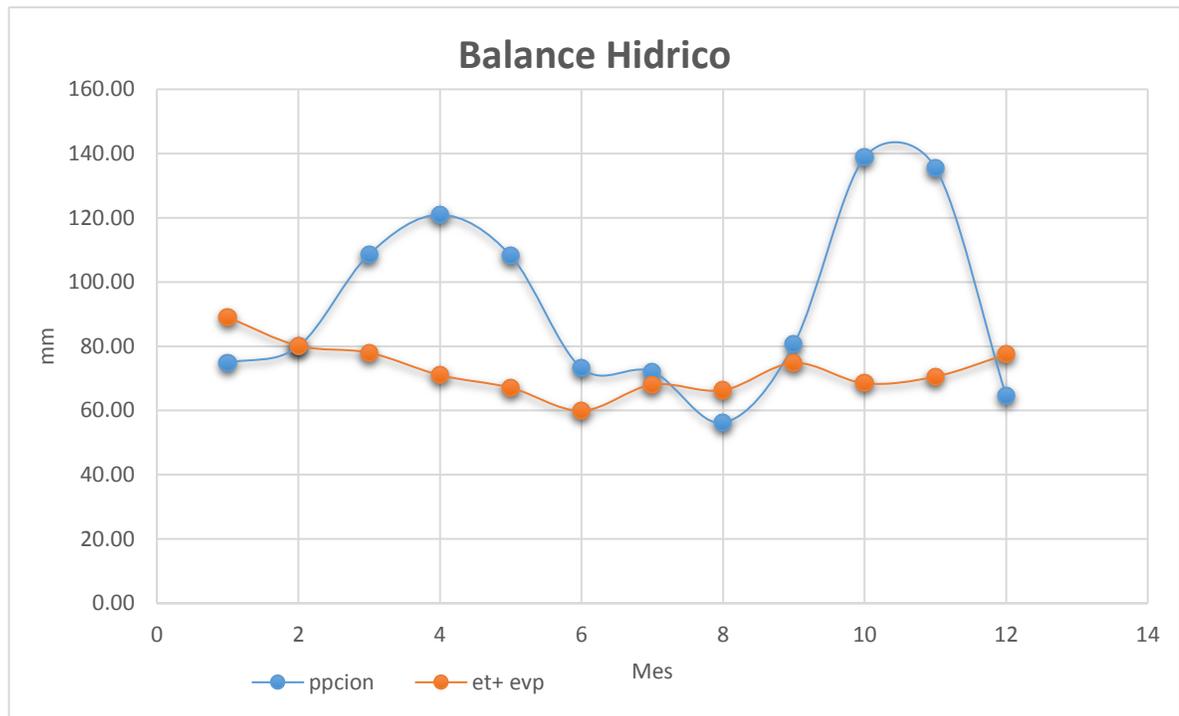
en cambio la evaporación y la evapotranspiración es la cantidad de agua que se pierde durante el ciclo de vida del agua.

Tabla 25. Balance hídrico

Fuente. Autores

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ppcion TotalProm (mm)	74,80	79,96	108,63	120,90	108,21	73,19	72,10	56,21	80,55	138,82	135,55	64,58
EVP Total Prom (mm)	84,75	76,25	73,23	66,43	62,58	56,57	64,31	62,42	70,85	64,35	66,50	73,68
ET	4,28	3,90	4,76	4,58	4,50	3,38	3,75	3,90	3,95	4,12	4,05	3,75
EVAP +ET	89,03	80,15	77,98	71,01	67,08	59,94	68,06	66,32	74,81	68,47	70,55	77,43
Deficit	-14,23	-0,19						-10,11				-12,85
Exeso			30,65	49,89	41,12	13,24	4,04		5,74	70,35	65,00	

Grafica 8. Balance Hídrico



Fuente. Elaboración Propia

En la Grafica 8 se observa claramente el comportamiento de la precipitación a lo largo de los 12 meses del año, se presentan dos épocas de lluvia en nuestra zona de estudio, se puede decir que la primera temporada de lluvias inicia en marzo y termina a mitades de abril y la segunda temporada de lluvias inicia a mitades de septiembre y finaliza a mitades de diciembre. Por otro lado, se puede observar que las pérdidas de precipitación son elevadas para la zona de estudio, ya que los

valores en algunos casos son muy cercanos a los que se encuentran en las temporadas de lluvia.

4.3 VERIFICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.3.1 Registro fotográfico

Realizamos una toma de fotografías en la zona de estudio, donde se realizó la toma de puntos, en las cuales podemos observar los vallados a los costados de la vía, se observan que tienen recubrimiento de pasto en la mayoría de la amplitud de los vallados. Ver anexo 4.

Tomamos las ilustraciones 58,62 y 64, del anexo 4. Del documento, para el sector donde se tomaron los puntos

Ilustración 25.sector vía suba-Cota.



Fuete. Autores

Ilustración 26, sector vía suba-Cota.



Fuente. Autores

Estas fotografías muestran como se ve el vallado principal y cómo actúa paralelamente a la vía, delimitando los predios con la calle. Se puede observar la cantidad de material vegetal que presenta el vallado.

4.3.2 Entrega topográfica

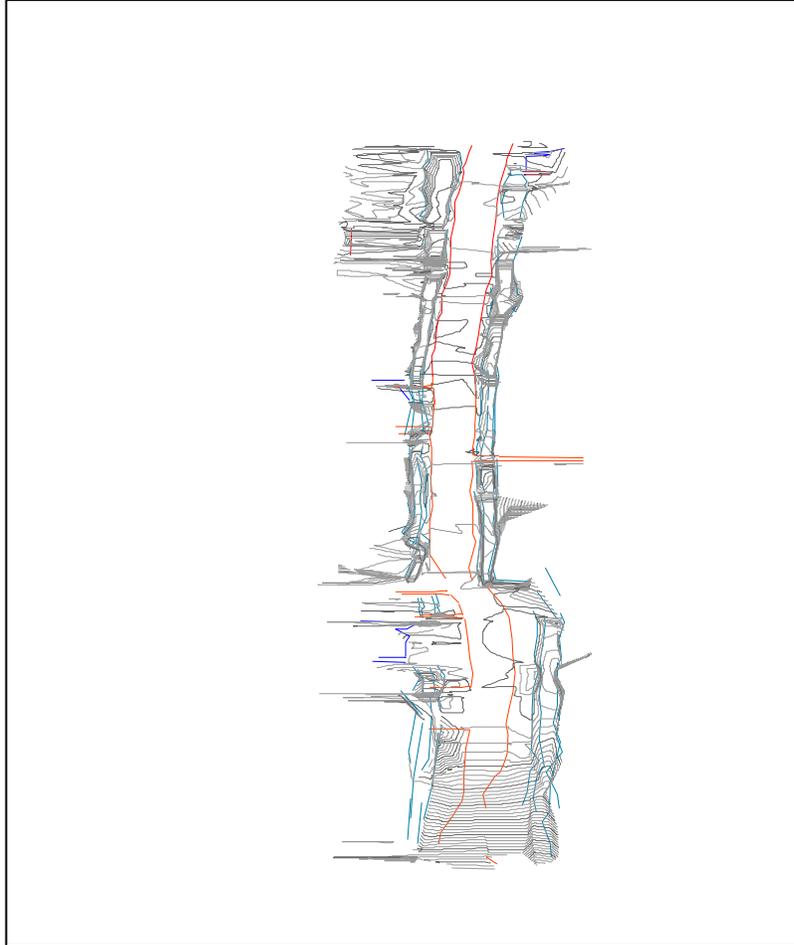
Se realizó la verificación en campo, de la zona de estudio a través del levantamiento topográfico del vallado principal que pasa por el costado izquierdo de la avenida la conejera en sentido occidente - oriente o también llamada vía Suba-Cota, donde en donde se realizó el levantamiento topográfico desde la Carrera 135 hasta la Carrera 111, se inició en la calle 135 por toda la avenida la conejera hacia el oriente identificando y levantando los bordes de la vía y del vallado, con sus respectivas profundidades. Para esto se usó una estación total de topografía tomando puntos de los vallados, de acuerdo a esto se realiza entrega topográfica, esta se hizo mediante la recolección de los puntos tomados en la zona de estudio, la nube de puntos obtenida se ingresa en AutoCAD para realizar el modelo de los vallados en 3D, generando las curvas de nivel de este sistema viendo el comportamiento de estos desde diferentes perfiles.

Durante el levantamiento realizado se identificó que el vallado no tiene una geometría similar ya en algunos tramos presenta realces por sedimentos, ocasionando el estancamiento de las aguas lluvias. También se observó que el vallado en la parte inferior o tiene formas geométricas definida, es decir que en algunos sectores no se identifica bien su geometría.

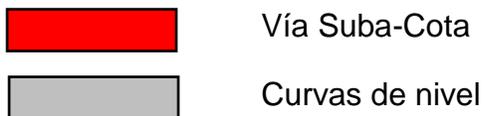
A continuación, se muestra como se ve un perfil en AutoCAD del modelamiento del terreno, además se adjunta el plano del levantamiento topográfico y el plano de la modelación de los vallados en planta

4.3.2.1 Perfil del modelado el AutoCAD

Ilustración 27. Modelo en AutoCAD

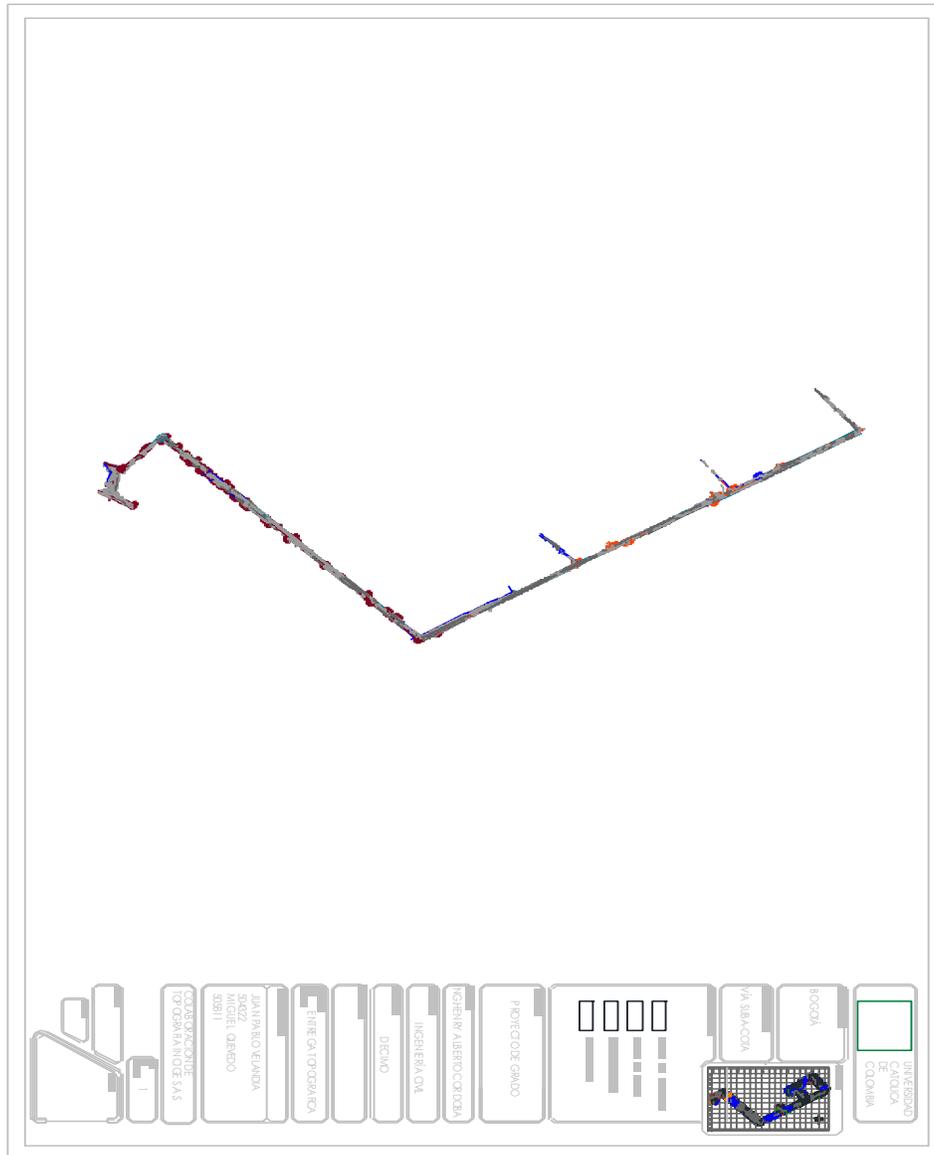


Fuente. Autores



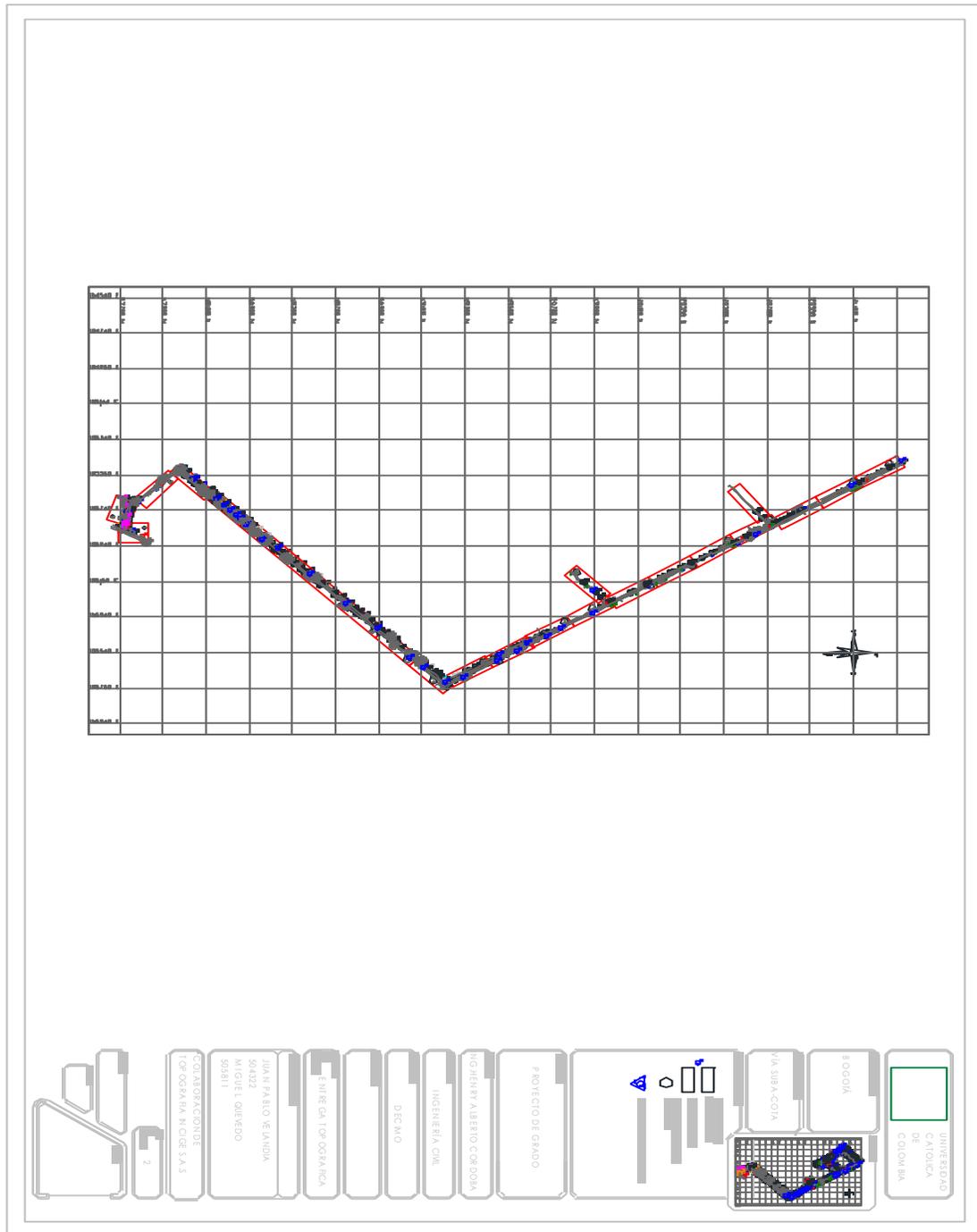
En este perfil tomado del modelamiento de la nube de puntos que se toma en capo muestra como se ve la vía suba cota, con lo vallados a los constados

Ilustración 28. Entrega topográfica.



Fuente. Autores

Ilustración 29. Levantamiento Topográfico

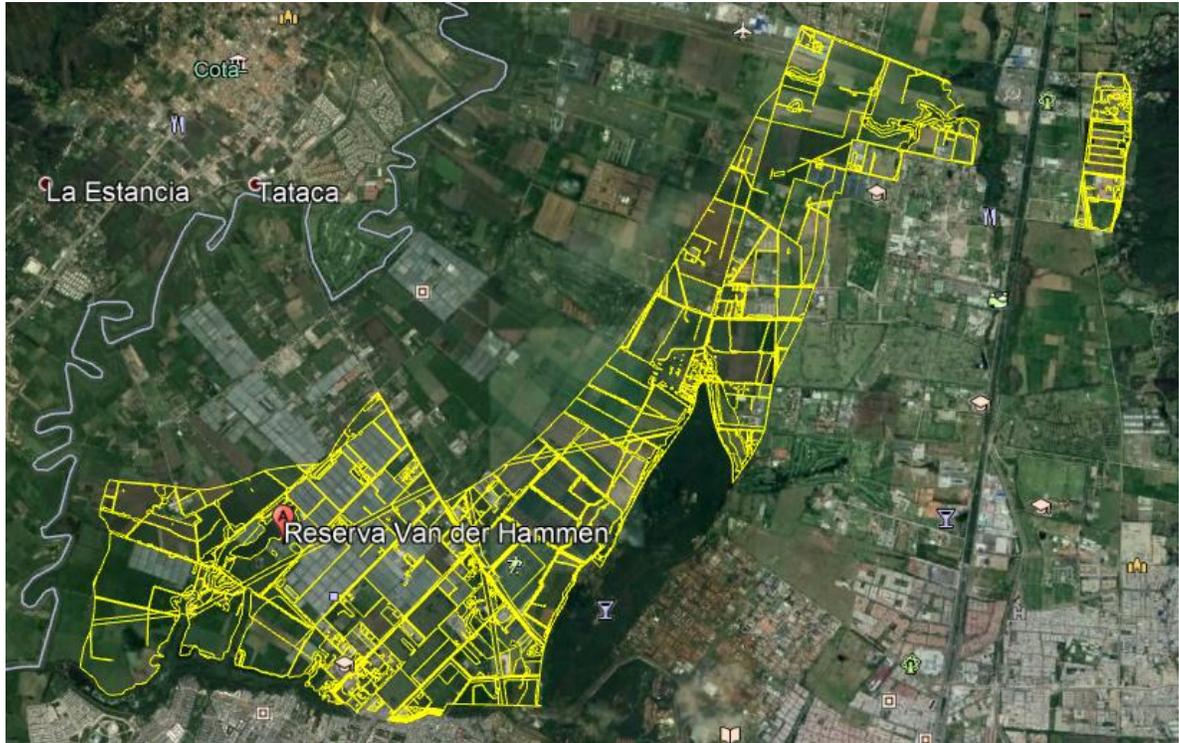


Fuente. Autores

4.3.2.2 Secciones trasversales

Mediante un KMZ de la reserva Tomas Van Der Hammen obtenido gracias a la base de datos de la CAR, en donde se identifica la reserva y la distribución de predios en su interior, sin embargo, se uso es archivo para exportar de AutoCAD la topografía levantada y pasarla a un KMZ para realizar la comparación de la zona levantada topográficamente, con respecto a la reserva.

Ilustración 30.Reserva TVDH



Fuente. Archivo KMZ en Google Earth.

 Reserva Thomas Van Der Hammen

Sobreponemos el levantamiento topográfico que se realizó en la avenida Suba-Cota o avenida la conejera, para exponer el terreno donde está ubicado el vallado principal, el cual será la zona de estudio.

Ilustración 31. Levatamiento topográfico en Google Earth

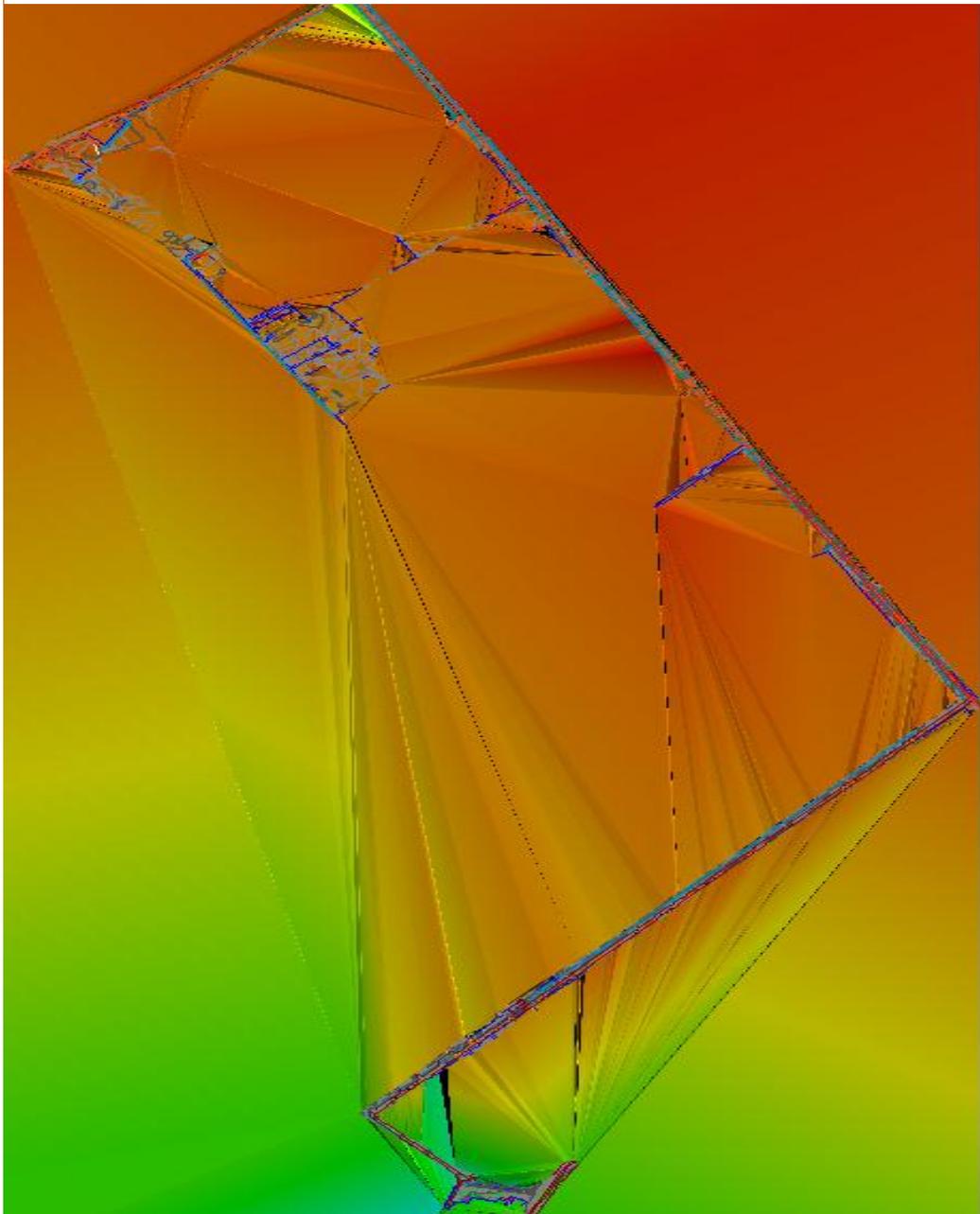


Fuente. Autores

 Levantamiento del Vallado

Usando el modelado de la topografía donde se tiene unas cotas de la altura, se realiza una modelación en Global mapper el terreno, con el fin poder obtener las secciones transversales del vallado con mejores características geométricas, en este modelamiento observamos cómo es el comportamiento del terreno a lo largo de la vía. También se observa cómo se comportan las dimensiones del vallado, que sectores cambia su geometría interna o en que sectores la topografía realizada no es clara, en conclusión, esta modelación sirve para entender como esta dimensionado el vallado en toda la zona de estudio.

Ilustración 32. Modelo en Global Mapper



Fuente. Autores

Una vez realizado el modelo en global Mapper se determinaron las secciones transversales de la vía en donde se observa el vallado principal y el vallado del costado sur de la avenida la conejera, sin embargo, se verificará el comportamiento hidráulico del vallado del costado norte de la vía.

Para determinar las secciones se realiza el abscisado del vallado levantado iniciando con K+000 en la Carrera 111 y terminando en K2+368 que corresponde a la Carrera 135. A continuación, se muestran tres sesiones de la vía, sin embargo, en el Anexo No.4.1 se relacionan todas las secciones transversales realizadas.

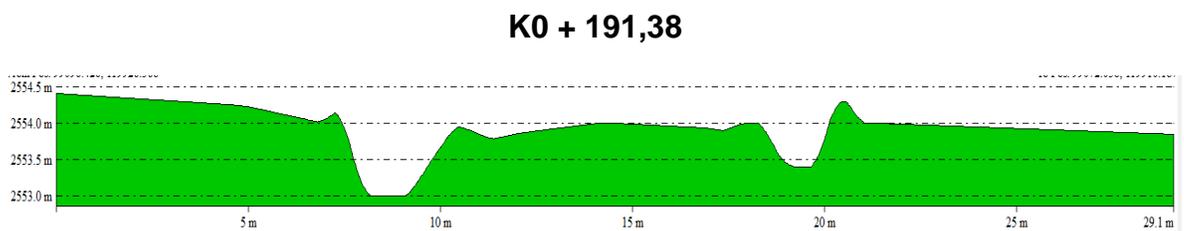
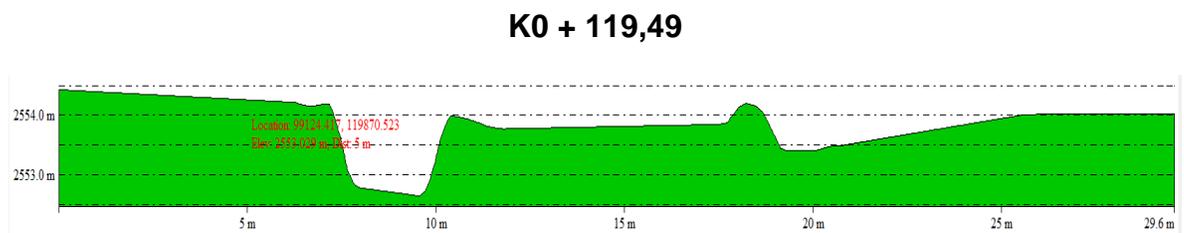
- **Sección C**

Ilustración 33. Sección C



Fuente. Autores.

Distancia Sección C : 71,89 metros.



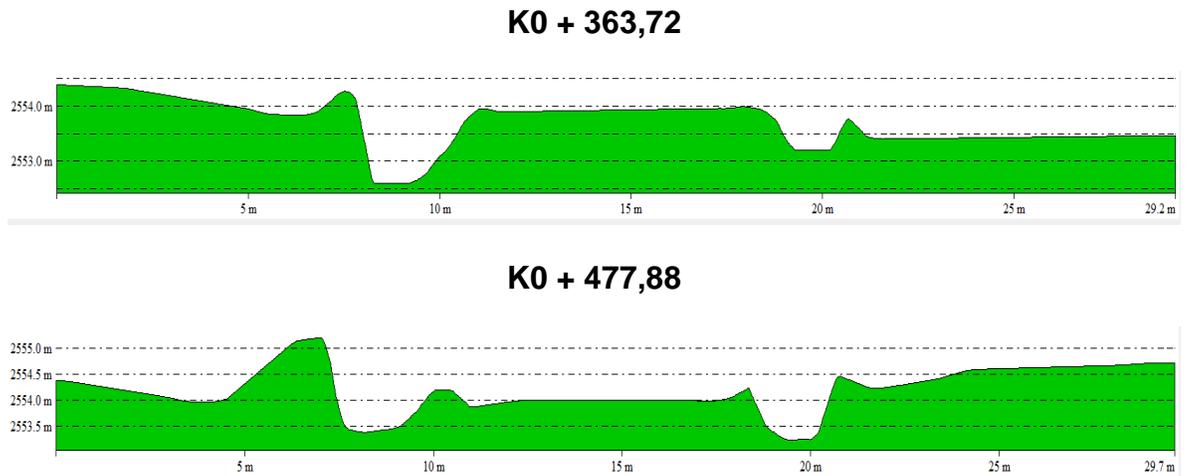
- **Sección F**

Ilustración 34. Sección E



Fuente. Autores

Distancia Sección E: 114,16 metros.



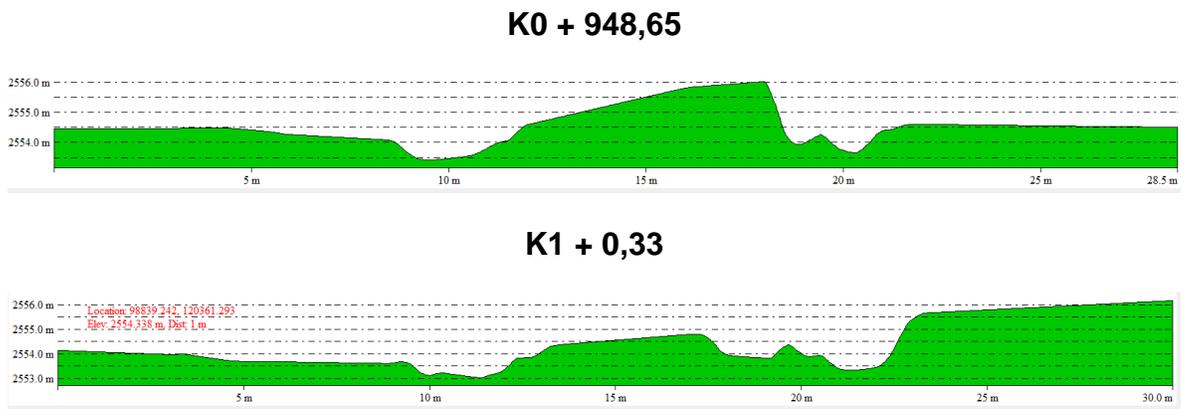
- **Sección L**

Ilustración 35. Sección L



Fuente. Autores

Distancia Sección L 84,34 metros



4.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL VALLADO PRINCIPAL.

4.4.1 Modelación en HEC-RAS

Para la realización de la modelación en el Software HEC-RAS es necesario tener las secciones transversales del vallado para poder saber las dimensiones del mismo y realizar una modelación adecuada y correcta. Durante el desarrollo del proyecto se determinaron las secciones mediante Global Mapper, en donde nos mostraba con más claridad el comportamiento del terreno y del vallado, sin embargo, estas secciones no se pueden exportar a HEC-RAS, por lo tanto, se hallaron las secciones transversales del vallado por medios de AutoCad Civil 3D, el cual nos permite exportar estas secciones al HEC-RAS, obteniendo el modelo más rápido.

Para el desarrollo de la modelación se realizó la modelación para 2140 metros del vallado, ya que la topografía levantada abarca solo la longitud mencionada, debido a que en algunos sectores la topografía no es clara y el vallado pierde su geometría o entra a predios privados de la zona, lo dificultó la toma de datos topográficos.

La modelación hidráulica se realizó para los dos casos expuestos anteriormente, es decir que se tiene un modelo del comportamiento hidráulico del vallado con los caudales de la reserva actualmente y otro modelo con los caudales de la reserva realinderada hallados anteriormente. Los periodos de retorno usados para la modelación fueron tres (3) TR=5, TR=10 y TR=25 con el fin de diferenciar el comportamiento hidráulico para cada caso.

Tabla 26. Datos HEC-RAS

DATOS UTILIZADOS PARA LA MODELACION EN HEC-RAS			
Reserva TVDH sin realinderar		Reserva TVDH realinderada	
Periodo de retorno (TR)	Caudal m³/s	Periodo de retorno (TR)	Caudal m³/s
5	4.5	5	14.5
25	8.9	25	20.3
Pendiente Promedio del vallado		0.003	
Distancia entre secciones transversales		20 metros	
Longitud del vallado para la modelación		2140 metros	

Continuación de Tabla 26

Manning utilizado (Vallado normal con vegetación)	0.003
Manning utilizado (Vallado revestido en concreto)	0.012

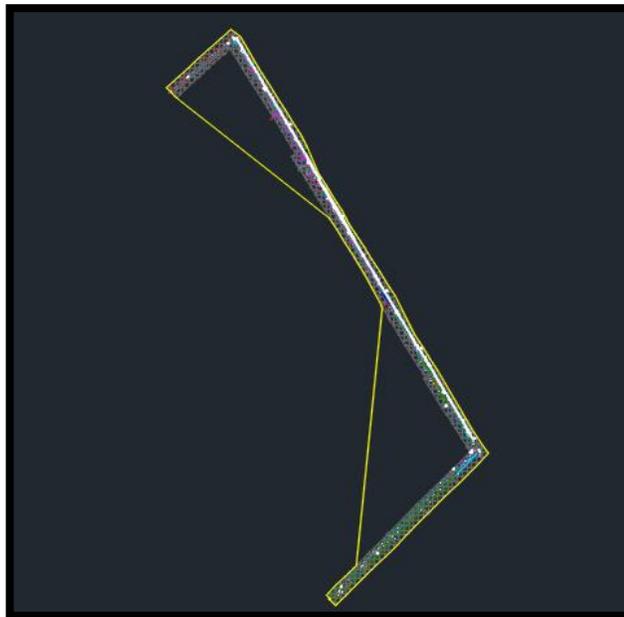
Fuente. Autores

Se realizó la modelación utilizando dos (2) Manning ya que se planea ver el comportamiento del vallado como se tiene actualmente que se encuentra en tierra natural con vegetación y la otra simulando que el vallado estuviera recubierto en concreto tipo canal.

4.4.1.1 Abscisado y secciones transversales en Auto CAD Civil

Para la moderación en Hec-Ras, se tomó la topografía realizada y con ayuda de Auto CAD Civil se realizaron las secciones transversales cada 20 metros, con el fin de tener más clara la geometría del vallado, si embargo en algunos sectores del vallado se interpolaron secciones, debido a que la topografía se encontraba incompleta y las secciones transversales que arrojaba el programa eran incoherentes, por tal motivo se decidió realizar la interpolación de secciones en algunos casos

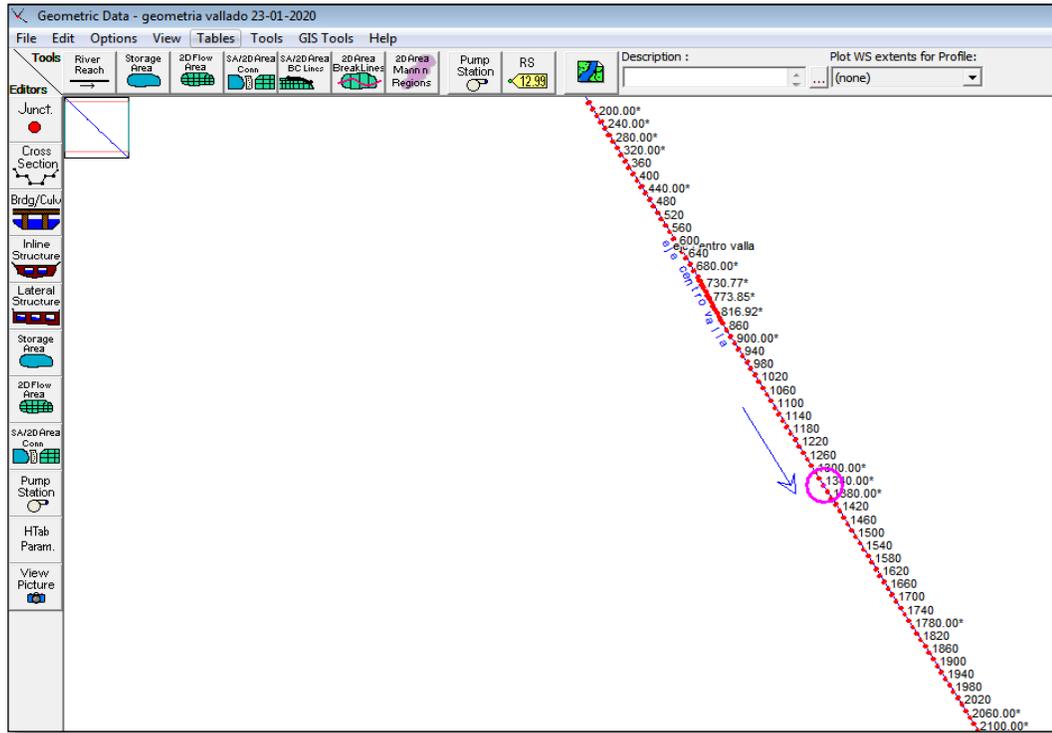
Ilustración 36. Abscisado del canal en Autocad Civil 3D y en HEC-RAS



Fuente. Autores

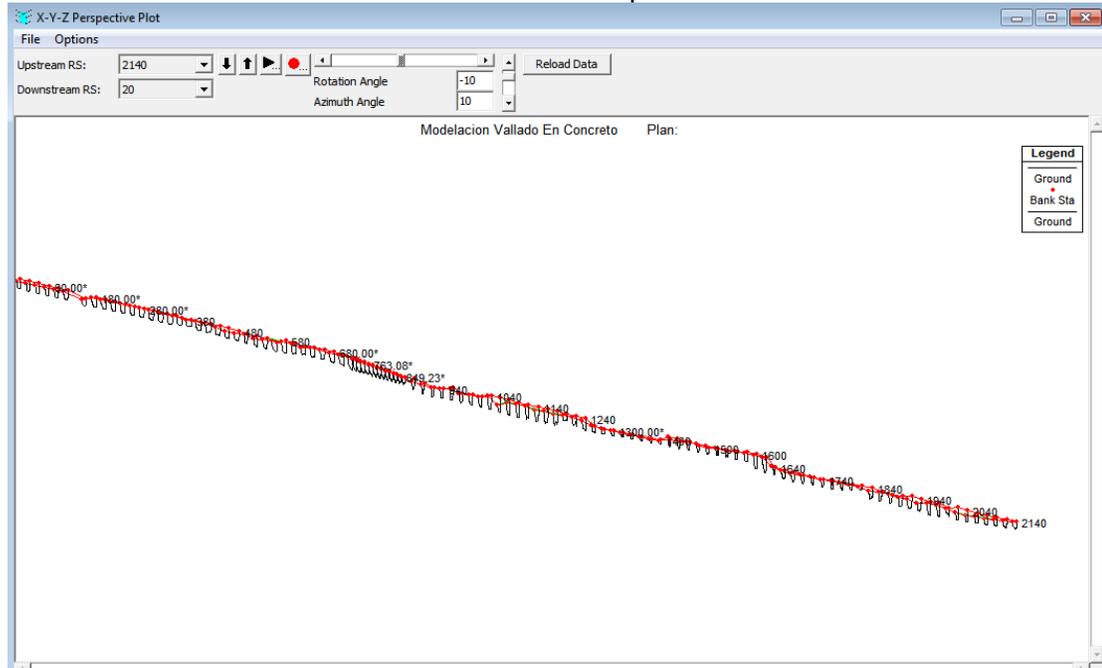
A continuación, se muestra el resultado de las secciones transversales exportadas al HEC-RAS desde el Auto CAD Civil 3D.

Ilustración 37. Secciones en HEC-RAS



Fuente. Autores

Ilustración 38. Secciones en HEC-RAS vista de perfil



Fuente. Autores

En la ilustración anterior se observa la interpolación realizada en las secciones desde la sección 20 hasta la sección 340, desde la 720 hasta la 860 y desde 1280 hasta la 1400. Sin embargo, la interpolación se realizó para que las secciones quedaran a la misma diferencia (20 metros) que las demás.

4.4.1.2 Manning utilizado para la modelación en HEC-RAS

Para la modelación de tomo los valores de Manning que aparecen en el libro de Chow, el cual nos da a conocer diferentes valores de Manning dependiendo se la superficie del canal. Para nuestro caso se tomó el valor de

- Canales excavados con raíces y maleza: 0.03
- Canales recubiertos en concreto acabado: 0.012

Ilustración 39. Valores de Manning

Material de las paredes del canal	<i>n</i>	Material de las paredes del canal	<i>n</i>
A. Canales recubiertos		B. Canales Excavados en tierra	
artificialmente de		Limpio	0.022
Vidrio	0.010	Grava	0.025
Cobre	0.011	Con raíces de maleza	0.030
Acero liso	0.012	Con piedras, adoquines	0.035
Acero pintado	0.014	C. Canales naturales	
Acero remachado	0.015	Limpio y recto	0.030
Hierro fundido	0.013	De flujo lento con fondos profundos	0.040
Concreto acabado	0.012	Ríos grandes	0.035
Concreto no acabado	0.014	Corrientes de montaña	0.050
Madera aplanada	0.012	D. Llanuras inundables	
Madera no aplanada	0.013	Pastadero, terreno agrícola	0.035
Azulejo	0.014	Con poca maleza	0.050
Ladrillo	0.015	Con mucha maleza	0.075
Asfalto	0.016	Con árboles	0.150
Metal corrugado	0.022		
Escombros	0.025		

Fuente. Chow (1959)

A continuación, se muestra la tabla de los valores de Manning usados en HEC -RAS

Ilustración 40. Manning de canal excavado

Edit Manning's n or k Values

River: (All Rivers) Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

	River	Reach	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
3	eje centro valla	eje centro valla	2100.00*	n	0.03	0.03	0.03
4	eje centro valla	eje centro valla	2080.00*	n	0.03	0.03	0.03
5	eje centro valla	eje centro valla	2060.00*	n	0.03	0.03	0.03
6	eje centro valla	eje centro valla	2040	n	0.03	0.03	0.03
7	eje centro valla	eje centro valla	2020	n	0.03	0.03	0.03
8	eje centro valla	eje centro valla	2000	n	0.03	0.03	0.03
9	eje centro valla	eje centro valla	1980	n	0.03	0.03	0.03
10	eje centro valla	eje centro valla	1960	n	0.03	0.03	0.03
11	eje centro valla	eje centro valla	1940	n	0.03	0.03	0.03
12	eje centro valla	eje centro valla	1920	n	0.03	0.03	0.03
13	eje centro valla	eje centro valla	1900	n	0.03	0.03	0.03
14	eje centro valla	eje centro valla	1880	n	0.03	0.03	0.03
15	eje centro valla	eje centro valla	1860	n	0.03	0.03	0.03
16	eje centro valla	eje centro valla	1840	n	0.03	0.03	0.03
17	eje centro valla	eje centro valla	1820	n	0.03	0.03	0.03
18	eje centro valla	eje centro valla	1800	n	0.03	0.03	0.03
19	eje centro valla	eje centro valla	1780.00*	n	0.03	0.03	
20	eje centro valla	eje centro valla	1760	n	0.03	0.03	0.03
21	eje centro valla	eje centro valla	1740	n	0.03	0.03	0.03
22	eje centro valla	eje centro valla	1720	n	0.03	0.03	0.03
23	eje centro valla	eje centro valla	1700	n	0.03	0.03	0.03
24	eje centro valla	eje centro valla	1680	n	0.03	0.03	0.03
25	eje centro valla	eje centro valla	1660	n	0.03	0.03	0.03
26	eje centro valla	eje centro valla	1640	n	0.03	0.03	0.03

Fuente. autores

Ilustración 41. Manning canal en concreto

Edit Manning's n or k Values

River: eje centro valla Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: eje centro valla All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	2140	n	0.012	0.012	0.012
2	2120.00*	n	0.012	0.012	0.012
3	2100.00*	n	0.012	0.012	0.012
4	2080.00*	n	0.012	0.012	0.012
5	2060.00*	n	0.012	0.012	0.012
6	2040	n	0.012	0.012	0.012
7	2020	n	0.012	0.012	0.012
8	2000	n	0.012	0.012	0.012
9	1980	n	0.012	0.012	0.012
10	1960	n	0.012	0.012	0.012
11	1940	n	0.012	0.012	0.012
12	1920	n	0.012	0.012	0.012
13	1900	n	0.012	0.012	0.012
14	1880	n	0.012	0.012	0.012
15	1860	n	0.012	0.012	0.012
16	1840	n	0.012	0.012	0.012
17	1820	n	0.012	0.012	0.012
18	1800	n	0.012	0.012	0.012
19	1780.00*	n	0.012	0.012	
20	1760	n	0.012	0.012	0.012
21	1740	n	0.012	0.012	0.012
22	1720	n	0.012	0.012	0.012
23	1700	n	0.012	0.012	0.012

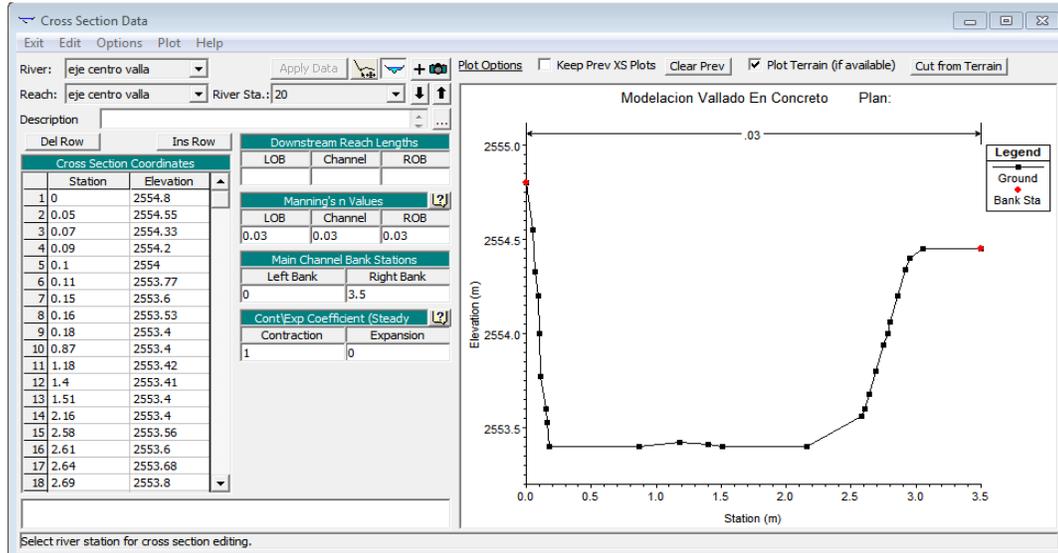
Fuente. autores

4.4.1.3 Modelación

4.4.1.4 Secciones transversales en HEC-RAS

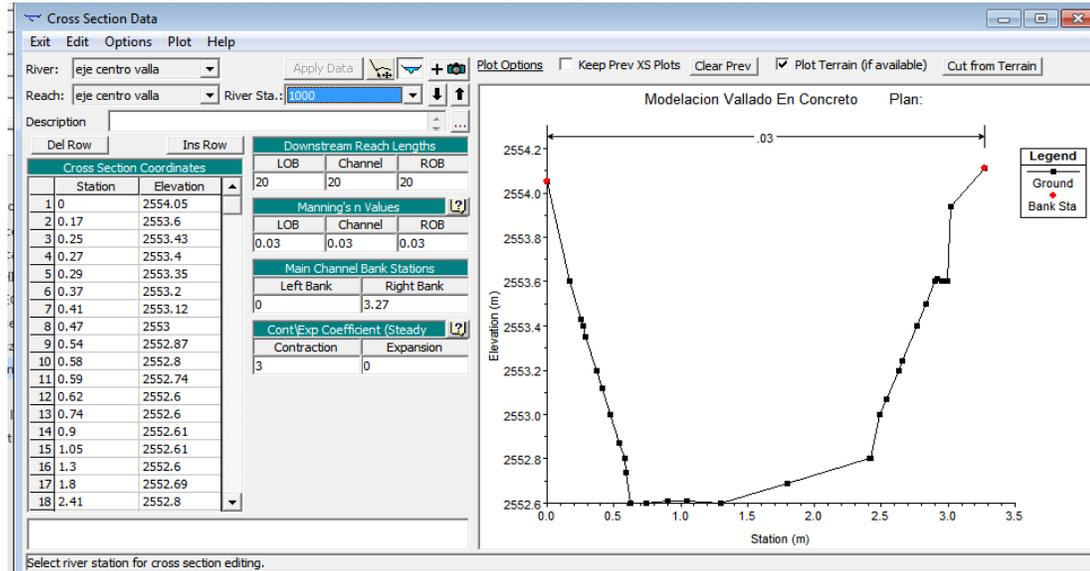
Las secciones trasversales del vallado se tomaron cada 20 metros para tener más claro la geometría del vallado, en la siguiente grafica se observa algunas de las secciones que se presentan y como se ven en HEC-RAS

Ilustración 42. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20



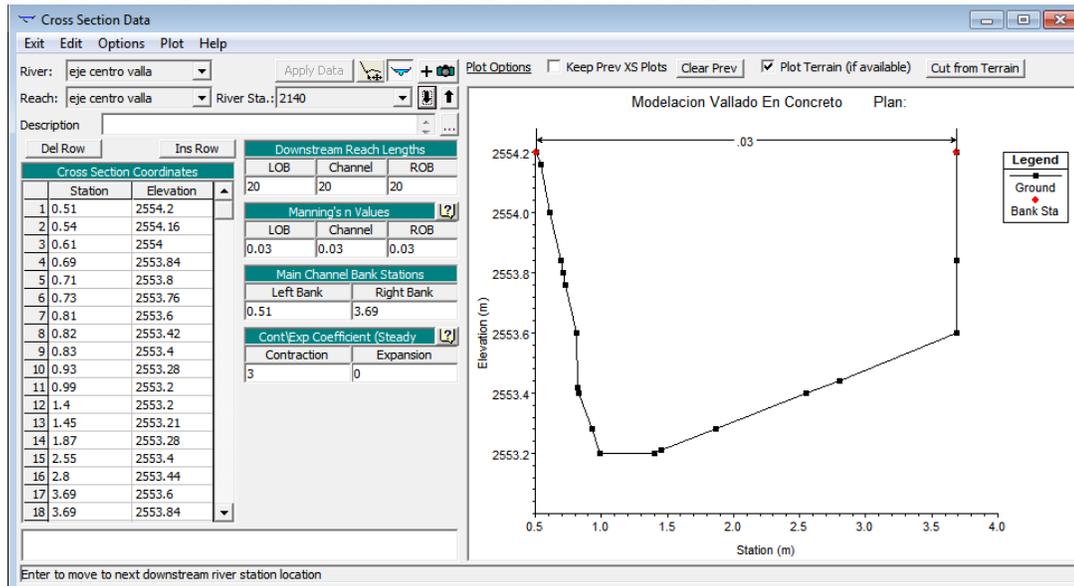
Fuente. Autores

Ilustración 43. Sección Vallado en HEC-RAS sección 1000



Fuente. Autores

Ilustración 44. Sección Vallado en HEC-RAS sección 2140



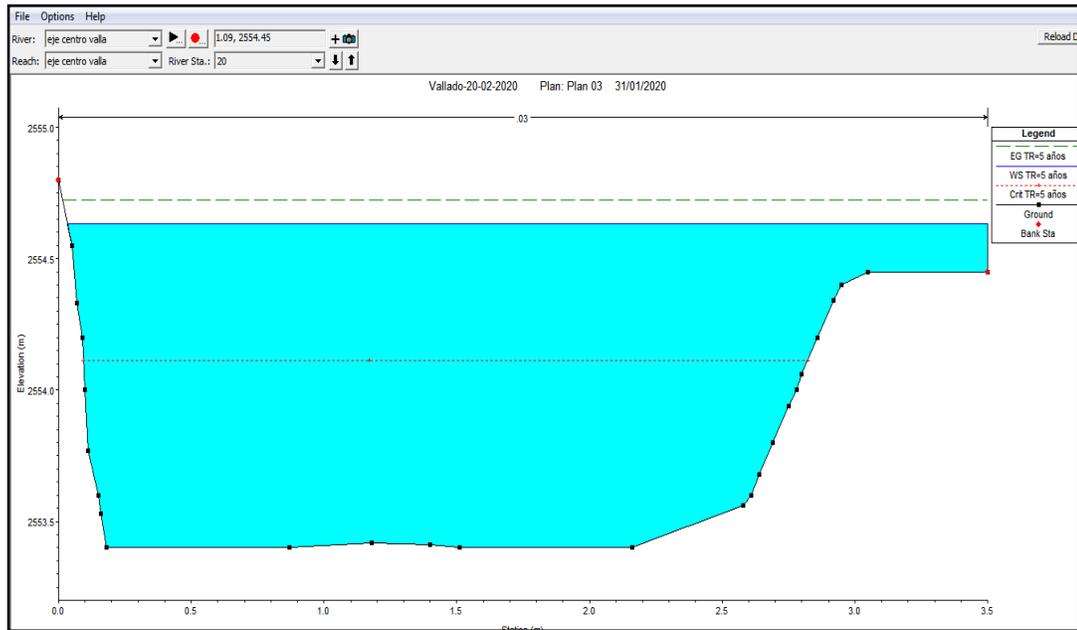
Fuente. Autores

Se puede observar en las ilustraciones anteriores que el vallado presenta un comportamiento desigual en las secciones, presentado que cada sección no sea igual a la otra, en algunos casos la geometría cambia drásticamente y en otros sectores permanece la misma geometría, también se observó que en algunas secciones varían en sus elevaciones de forma considerable, se decidió que en estos casos se eliminaría la sección y se interpolaría con las secciones que tengan elevaciones coherentes.

4.4.1.5 Resultados Modelación para el Vallado actualmente

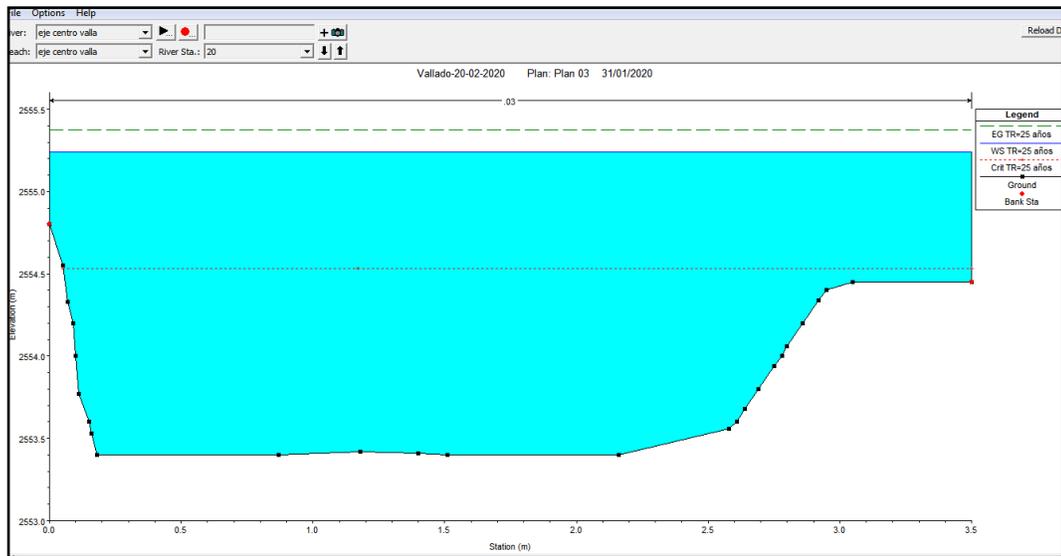
Se realizó la modelación para el vallado como se encuentra actualmente es decir con el Manning para canales excavados con raíces maleza y con caudales obtenidos en los periodos de retorno (TR= 5 y 25 años)

Ilustración 45. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=5 años



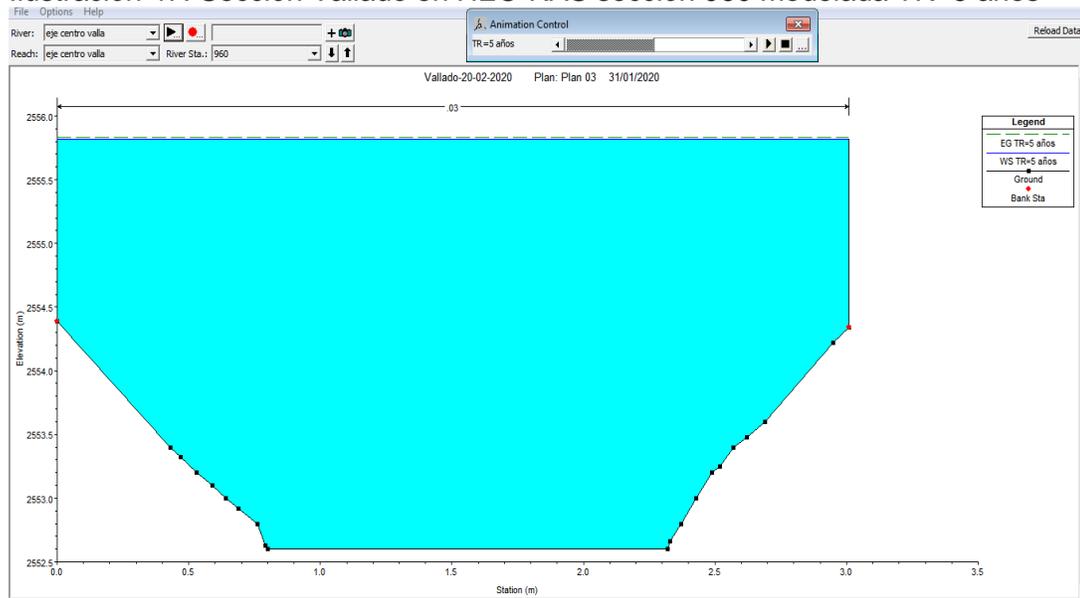
Fuente. autores

Ilustración 46. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=25 años



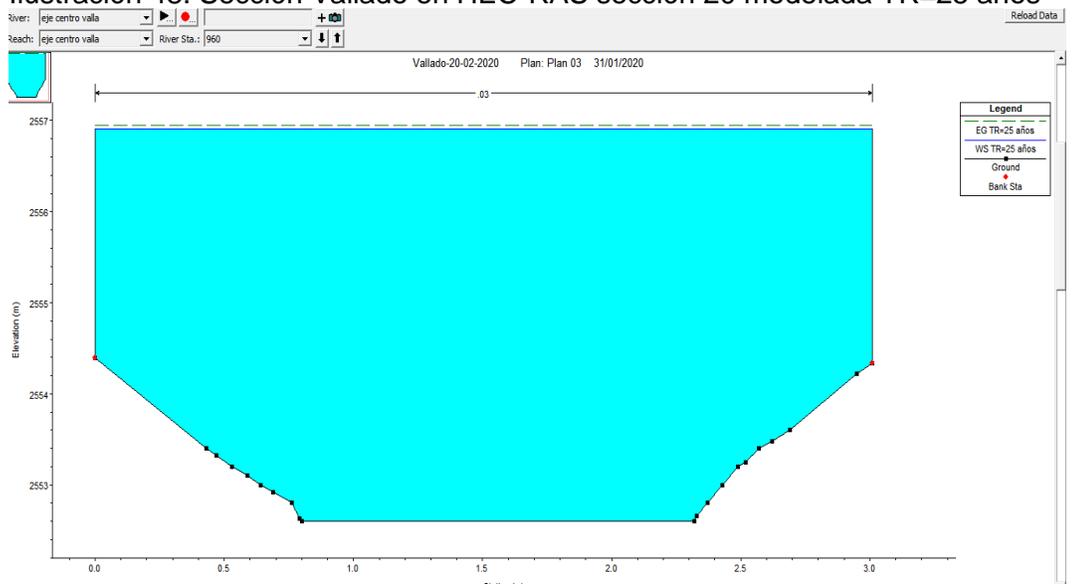
Fuente. autores

Ilustración 47. Sección Vallado en HEC-RAS sección 960 modelada TR=5 años



Fuente. autores

Ilustración 48. Sección Vallado en HEC-RAS sección 20 modelada TR=25 años



Fuente. autores

Ilustración 49. Resultados modelación TR=5 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: vallado actuamente River: eje centro valla Reach: eje centro valla Profile: TR=5 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
eje centro valla	720	TR=5 años	4.50	2553.00	2555.64		2555.65	0.000207	0.51	8.78	4.13	0.11
eje centro valla	700	TR=5 años	4.50	2553.34	2555.62		2555.64	0.000267	0.56	8.01	4.09	0.13
eje centro valla	680.00*	TR=5 años	4.50	2553.47	2555.60		2555.62	0.000330	0.61	7.33	3.91	0.14
eje centro valla	660	TR=5 años	4.50	2553.60	2555.57		2555.60	0.000460	0.69	6.49	3.72	0.17
eje centro valla	640	TR=5 años	4.50	2553.60	2555.54		2555.57	0.000599	0.77	5.87	3.47	0.19
eje centro valla	620	TR=5 años	4.50	2553.60	2555.53		2555.56	0.000640	0.77	5.87	3.36	0.19
eje centro valla	600	TR=5 años	4.50	2553.40	2555.53		2555.55	0.000412	0.65	6.97	3.64	0.15
eje centro valla	580	TR=5 años	4.50	2553.20	2555.53		2555.54	0.000246	0.55	8.18	3.89	0.12
eje centro valla	560	TR=5 años	4.50	2553.00	2555.53		2555.54	0.000180	0.51	8.89	4.14	0.11
eje centro valla	540	TR=5 años	4.50	2553.20	2555.49		2555.51	0.000353	0.62	7.22	3.66	0.14
eje centro valla	520	TR=5 años	4.50	2553.20	2555.45		2555.47	0.000654	0.76	5.91	3.09	0.18
eje centro valla	500	TR=5 años	4.50	2553.30	2555.27		2555.34	0.001879	1.15	3.93	2.53	0.29
eje centro valla	480	TR=5 años	4.50	2553.40	2555.28		2555.31	0.000532	0.72	6.26	3.73	0.18
eje centro valla	460	TR=5 años	4.50	2553.40	2555.27		2555.29	0.000542	0.72	6.21	3.73	0.18
eje centro valla	440.00*	TR=5 años	4.50	2553.50	2555.26		2555.28	0.000443	0.68	6.63	4.23	0.17
eje centro valla	420	TR=5 años	4.50	2553.60	2555.25		2555.28	0.000389	0.65	6.96	4.72	0.17
eje centro valla	400	TR=5 años	4.50	2553.60	2555.24		2555.27	0.000395	0.66	6.85	4.60	0.17
eje centro valla	380	TR=5 años	4.50	2553.80	2555.20		2555.23	0.000643	0.78	5.79	4.47	0.22
eje centro valla	360	TR=5 años	4.50	2553.67	2555.19		2555.22	0.000575	0.75	6.00	4.37	0.20
eje centro valla	340	TR=5 años	4.50	2553.50	2555.19		2555.21	0.000392	0.66	6.86	4.41	0.17
eje centro valla	320.00*	TR=5 años	4.50	2553.49	2555.17		2555.20	0.000419	0.67	6.68	4.35	0.17
eje centro valla	300.00*	TR=5 años	4.50	2553.49	2555.16		2555.18	0.000450	0.69	6.50	4.30	0.18
eje centro valla	280.00*	TR=5 años	4.50	2553.48	2555.14		2555.17	0.000485	0.71	6.32	4.24	0.19
eje centro valla	260.00*	TR=5 años	4.50	2553.48	2555.13		2555.16	0.000524	0.73	6.14	4.18	0.19
eje centro valla	240.00*	TR=5 años	4.50	2553.47	2555.11		2555.14	0.000569	0.76	5.96	4.13	0.20
eje centro valla	220.00*	TR=5 años	4.50	2553.46	2555.09		2555.12	0.000619	0.78	5.78	4.07	0.21
eje centro valla	200.00*	TR=5 años	4.50	2553.46	2555.07		2555.10	0.000678	0.80	5.60	4.01	0.22
eje centro valla	180.00*	TR=5 años	4.50	2553.45	2555.05		2555.08	0.000746	0.83	5.41	3.96	0.23
eje centro valla	160	TR=5 años	4.50	2553.20	2555.01		2555.05	0.000903	0.89	5.07	3.18	0.22
eje centro valla	120.00*	TR=5 años	4.50	2553.43	2554.98		2555.03	0.000990	0.92	4.91	3.78	0.26
eje centro valla	100.00*	TR=5 años	4.50	2553.43	2554.95		2554.99	0.001126	0.96	4.70	3.73	0.27
eje centro valla	80.00*	TR=5 años	4.50	2553.42	2554.90		2554.95	0.001300	1.01	4.47	3.67	0.29
eje centro valla	60.00*	TR=5 años	4.50	2553.41	2554.85		2554.91	0.001546	1.07	4.22	3.61	0.32
eje centro valla	40.00*	TR=5 años	4.50	2553.41	2554.77		2554.84	0.001943	1.15	3.90	3.55	0.35
eje centro valla	20	TR=5 años	4.50	2553.40	2554.63	2554.11	2554.72	0.003003	1.34	3.36	3.47	0.44

Froude number for the main channel.

Fuente. autores

Ilustración 50. Resultados modelación TR=25 años

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: vallado actualmente River: eje centro valla Reach: eje centro valla Profile: TR=25 años

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
eje centro valla	720	TR=25 años	8.90	2553.00	2556.64		2556.66	0.000301	0.69	12.92	4.13	0.12
eje centro valla	700	TR=25 años	8.90	2553.34	2556.62		2556.65	0.000361	0.74	12.09	4.09	0.14
eje centro valla	680.00*	TR=25 años	8.90	2553.47	2556.59		2556.62	0.000436	0.80	11.19	3.91	0.15
eje centro valla	660	TR=25 años	8.90	2553.60	2556.55		2556.59	0.000571	0.88	10.13	3.72	0.17
eje centro valla	640	TR=25 años	8.90	2553.60	2556.51		2556.56	0.000737	0.96	9.22	3.47	0.19
eje centro valla	620	TR=25 años	8.90	2553.60	2556.49		2556.54	0.000813	0.98	9.09	3.36	0.19
eje centro valla	600	TR=25 años	8.90	2553.40	2556.49		2556.52	0.000565	0.85	10.46	3.64	0.16
eje centro valla	580	TR=25 años	8.90	2553.20	2556.49		2556.51	0.000372	0.75	11.91	3.89	0.14
eje centro valla	560	TR=25 años	8.90	2553.00	2556.48		2556.51	0.000243	0.69	12.86	4.14	0.13
eje centro valla	540	TR=25 años	8.90	2553.20	2556.43		2556.47	0.000512	0.84	10.66	3.66	0.16
eje centro valla	520	TR=25 años	8.90	2553.20	2556.35		2556.40	0.000958	1.02	8.69	3.09	0.19
eje centro valla	500	TR=25 años	8.90	2553.30	2556.07		2556.19	0.002576	1.50	5.95	2.53	0.31
eje centro valla	480	TR=25 años	8.90	2553.40	2556.09		2556.14	0.000739	0.96	9.29	3.73	0.19
eje centro valla	460	TR=25 años	8.90	2553.40	2556.07		2556.12	0.000752	0.96	9.23	3.73	0.20
eje centro valla	440.00*	TR=25 años	8.90	2553.50	2556.07		2556.11	0.000573	0.89	10.05	4.23	0.18
eje centro valla	420	TR=25 años	8.90	2553.60	2556.06		2556.10	0.000465	0.83	10.78	4.72	0.17
eje centro valla	400	TR=25 años	8.90	2553.60	2556.05		2556.08	0.000484	0.84	10.55	4.60	0.18
eje centro valla	380	TR=25 años	8.90	2553.80	2556.00		2556.04	0.000677	0.95	9.36	4.47	0.21
eje centro valla	360	TR=25 años	8.90	2553.67	2555.99		2556.03	0.000653	0.94	9.49	4.37	0.20
eje centro valla	340	TR=25 años	8.90	2553.50	2555.98		2556.02	0.000510	0.86	10.36	4.41	0.18
eje centro valla	320.00*	TR=25 años	8.90	2553.49	2555.96		2556.00	0.000542	0.88	10.12	4.35	0.18
eje centro valla	300.00*	TR=25 años	8.90	2553.49	2555.95		2555.99	0.000578	0.90	9.87	4.30	0.19
eje centro valla	280.00*	TR=25 años	8.90	2553.48	2555.93		2555.97	0.000618	0.92	9.63	4.24	0.20
eje centro valla	260.00*	TR=25 años	8.90	2553.48	2555.90		2555.95	0.000663	0.95	9.38	4.18	0.20
eje centro valla	240.00*	TR=25 años	8.90	2553.47	2555.88		2555.93	0.000714	0.97	9.13	4.13	0.21
eje centro valla	220.00*	TR=25 años	8.90	2553.46	2555.85		2555.90	0.000772	1.00	8.88	4.07	0.22
eje centro valla	200.00*	TR=25 años	8.90	2553.46	2555.82		2555.88	0.000837	1.03	8.62	4.01	0.22
eje centro valla	180.00*	TR=25 años	8.90	2553.45	2555.79		2555.85	0.000912	1.06	8.37	3.96	0.23
eje centro valla	160	TR=25 años	8.90	2553.20	2555.69		2555.77	0.001411	1.23	7.24	3.18	0.26
eje centro valla	120.00*	TR=25 años	8.90	2553.43	2555.67		2555.75	0.001229	1.18	7.53	3.78	0.27
eje centro valla	100.00*	TR=25 años	8.90	2553.43	2555.62		2555.70	0.001381	1.23	7.23	3.73	0.28
eje centro valla	80.00*	TR=25 años	8.90	2553.42	2555.56		2555.65	0.001570	1.29	6.91	3.67	0.30
eje centro valla	60.00*	TR=25 años	8.90	2553.41	2555.49		2555.59	0.001827	1.36	6.55	3.61	0.32
eje centro valla	40.00*	TR=25 años	8.90	2553.41	2555.40		2555.50	0.002215	1.46	6.11	3.56	0.35
eje centro valla	20	TR=25 años	8.90	2553.40	2555.24	2554.53	2555.38	0.003001	1.62	5.49	3.50	0.41

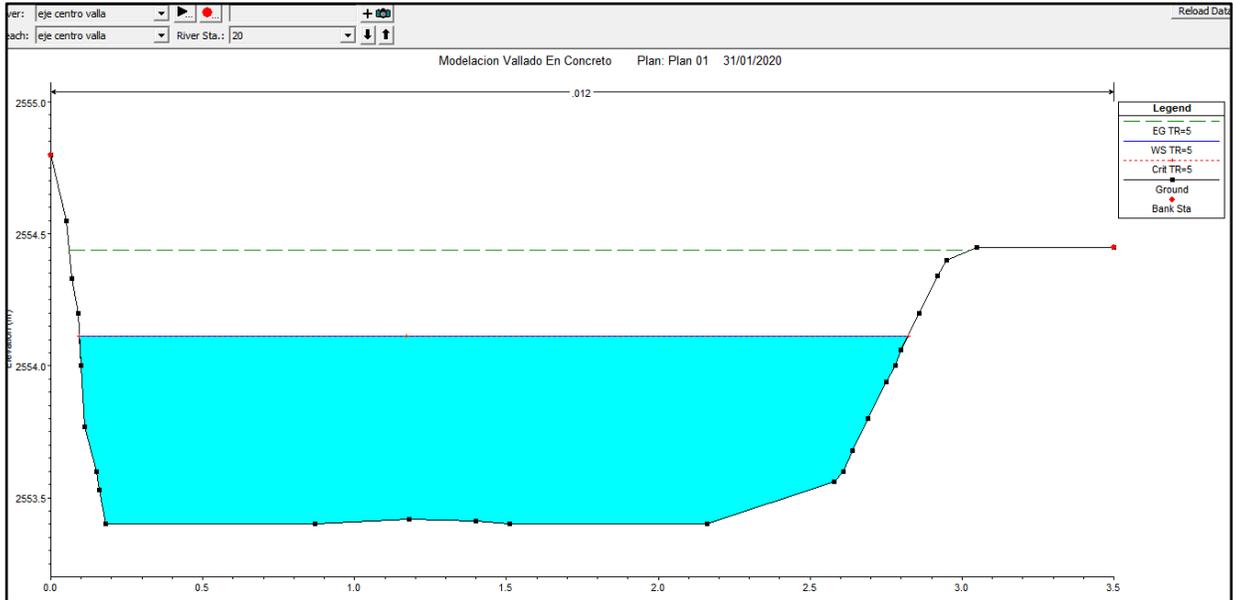
Froude number for the main channel.

Fuente. autores

4.4.1.6 Resultados Modelación para el Vallado con recubrimiento en concreto

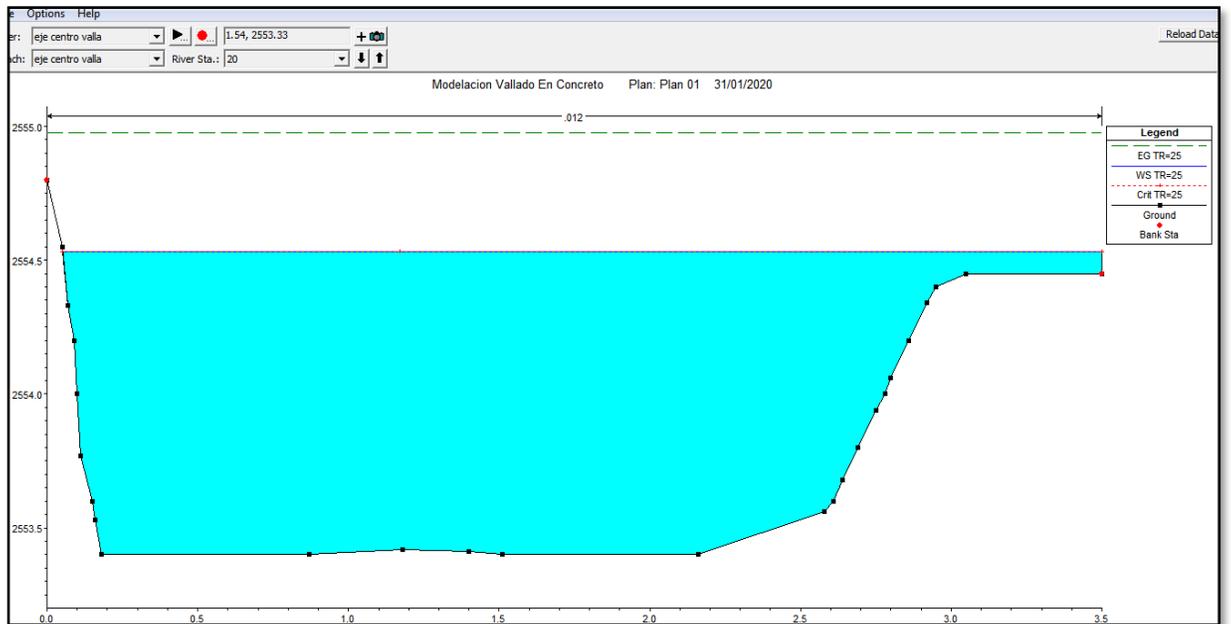
Se realizo la modelación para el vallado suponiendo que el vallado se encontrara revestido en concreto para lo cual se cambió el Manning como se encuentra actualmente es decir con el Manning para canales revestidos en concreto y con caudales obtenidos en los periodos de retorno (TR= 5 y 25 años)

Ilustración 51. Sección Vallado en concreto sección 20 modelada TR=5 años



Fuente. Autores

Ilustración 52. Sección Vallado en concreto sección 20 modelada TR=25 años



Fuente. autores

Ilustración 53. Resultados modelación TR=5 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: PLAN CONCRETO River: eje centro valla Reach: eje centro valla Profile: TR=5												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
eje centro valla	700	TR=5	4.50	2553.34	2555.61		2555.63	0.000043	0.57	7.96	4.09	0.13
eje centro valla	680.00*	TR=5	4.50	2553.47	2555.60		2555.62	0.000053	0.62	7.31	3.91	0.14
eje centro valla	660	TR=5	4.50	2553.60	2555.57		2555.60	0.000074	0.69	6.49	3.72	0.17
eje centro valla	640	TR=5	4.50	2553.60	2555.55		2555.58	0.000094	0.76	5.91	3.47	0.19
eje centro valla	620	TR=5	4.50	2553.60	2555.55		2555.58	0.000099	0.76	5.95	3.36	0.18
eje centro valla	600	TR=5	4.50	2553.40	2555.56		2555.58	0.000063	0.64	7.08	3.64	0.15
eje centro valla	580	TR=5	4.50	2553.20	2555.56		2555.58	0.000038	0.54	8.32	3.89	0.12
eje centro valla	560	TR=5	4.50	2553.00	2555.56		2555.58	0.000027	0.50	9.06	4.14	0.11
eje centro valla	540	TR=5	4.50	2553.20	2555.54		2555.56	0.000053	0.61	7.38	3.66	0.14
eje centro valla	520	TR=5	4.50	2553.20	2555.50		2555.53	0.000097	0.74	6.08	3.09	0.17
eje centro valla	500	TR=5	4.50	2553.30	2555.37		2555.43	0.000257	1.08	4.17	2.53	0.27
eje centro valla	480	TR=5	4.50	2553.40	2555.40		2555.43	0.000070	0.67	6.72	3.73	0.16
eje centro valla	460	TR=5	4.50	2553.40	2555.40		2555.43	0.000070	0.67	6.72	3.73	0.16
eje centro valla	440.00*	TR=5	4.50	2553.50	2555.40		2555.42	0.000056	0.62	7.24	4.23	0.15
eje centro valla	420	TR=5	4.50	2553.60	2555.41		2555.42	0.000047	0.59	7.68	4.72	0.15
eje centro valla	400	TR=5	4.50	2553.60	2555.40		2555.42	0.000048	0.59	7.58	4.60	0.15
eje centro valla	380	TR=5	4.50	2553.80	2555.38		2555.40	0.000072	0.68	6.59	4.47	0.18
eje centro valla	360	TR=5	4.50	2553.67	2555.38		2555.40	0.000064	0.66	6.84	4.37	0.17
eje centro valla	340	TR=5	4.50	2553.50	2555.38		2555.40	0.000045	0.58	7.72	4.41	0.14
eje centro valla	320.00*	TR=5	4.50	2553.49	2555.38		2555.40	0.000048	0.59	7.57	4.35	0.14
eje centro valla	300.00*	TR=5	4.50	2553.49	2555.38		2555.39	0.000050	0.61	7.42	4.30	0.15
eje centro valla	280.00*	TR=5	4.50	2553.48	2555.37		2555.39	0.000053	0.62	7.28	4.24	0.15
eje centro valla	260.00*	TR=5	4.50	2553.48	2555.37		2555.39	0.000056	0.63	7.13	4.18	0.15
eje centro valla	240.00*	TR=5	4.50	2553.47	2555.36		2555.38	0.000059	0.64	6.99	4.13	0.16
eje centro valla	220.00*	TR=5	4.50	2553.46	2555.36		2555.38	0.000062	0.66	6.86	4.07	0.16
eje centro valla	200.00*	TR=5	4.50	2553.46	2555.35		2555.38	0.000066	0.67	6.73	4.01	0.17
eje centro valla	180.00*	TR=5	4.50	2553.45	2555.35		2555.37	0.000070	0.68	6.60	3.96	0.17
eje centro valla	160	TR=5	4.50	2553.20	2555.33		2555.36	0.000090	0.74	6.08	3.18	0.17
eje centro valla	120.00*	TR=5	4.50	2553.43	2555.33		2555.35	0.000083	0.72	6.22	3.78	0.18
eje centro valla	100.00*	TR=5	4.50	2553.43	2555.32		2555.35	0.000088	0.74	6.10	3.73	0.18
eje centro valla	80.00*	TR=5	4.50	2553.42	2555.32		2555.34	0.000094	0.75	5.99	3.67	0.19
eje centro valla	60.00*	TR=5	4.50	2553.41	2555.31		2555.34	0.000099	0.76	5.89	3.61	0.19
eje centro valla	40.00*	TR=5	4.50	2553.41	2555.30	2554.12	2555.33	0.000105	0.78	5.78	3.56	0.19
eje centro valla	20	TR=5	4.50	2553.40	2554.11	2554.11	2554.44	0.002506	2.53	1.78	2.73	1.00

Fuente. autores

Ilustración 54. Resultados modelación TR=25 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: PLAN CONCRETO River: eje centro valla Reach: eje centro valla Profile: TR=25												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
eje centro valla	700	TR=25	8.90	2553.34	2556.60		2556.63	0.000059	0.74	12.01	4.09	0.14
eje centro valla	680.00*	TR=25	8.90	2553.47	2556.58		2556.61	0.000071	0.80	11.14	3.91	0.15
eje centro valla	660	TR=25	8.90	2553.60	2556.55		2556.59	0.000092	0.88	10.11	3.72	0.17
eje centro valla	640	TR=25	8.90	2553.60	2556.52		2556.56	0.000117	0.96	9.25	3.47	0.19
eje centro valla	620	TR=25	8.90	2553.60	2556.51		2556.56	0.000127	0.97	9.17	3.36	0.19
eje centro valla	600	TR=25	8.90	2553.40	2556.52		2556.56	0.000088	0.84	10.58	3.64	0.16
eje centro valla	580	TR=25	8.90	2553.20	2556.53		2556.56	0.000058	0.74	12.08	3.89	0.13
eje centro valla	560	TR=25	8.90	2553.00	2556.53		2556.55	0.000037	0.68	13.06	4.14	0.12
eje centro valla	540	TR=25	8.90	2553.20	2556.49		2556.52	0.000078	0.82	10.86	3.66	0.15
eje centro valla	520	TR=25	8.90	2553.20	2556.42		2556.47	0.000144	1.00	8.91	3.09	0.19
eje centro valla	500	TR=25	8.90	2553.30	2556.21		2556.31	0.000359	1.41	6.29	2.53	0.29
eje centro valla	480	TR=25	8.90	2553.40	2556.26		2556.31	0.000100	0.90	9.93	3.73	0.18
eje centro valla	460	TR=25	8.90	2553.40	2556.26		2556.30	0.000100	0.90	9.93	3.73	0.18
eje centro valla	440.00*	TR=25	8.90	2553.50	2556.27		2556.30	0.000075	0.82	10.89	4.23	0.16
eje centro valla	420	TR=25	8.90	2553.60	2556.27		2556.30	0.000059	0.76	11.76	4.72	0.15
eje centro valla	400	TR=25	8.90	2553.60	2556.27		2556.30	0.000061	0.77	11.55	4.60	0.16
eje centro valla	380	TR=25	8.90	2553.80	2556.24		2556.27	0.000082	0.85	10.42	4.47	0.18
eje centro valla	360	TR=25	8.90	2553.67	2556.24		2556.27	0.000079	0.84	10.58	4.37	0.17
eje centro valla	340	TR=25	8.90	2553.50	2556.24		2556.27	0.000062	0.77	11.51	4.41	0.15
eje centro valla	320.00*	TR=25	8.90	2553.49	2556.23		2556.27	0.000065	0.79	11.30	4.35	0.16
eje centro valla	300.00*	TR=25	8.90	2553.49	2556.23		2556.26	0.000069	0.80	11.09	4.30	0.16
eje centro valla	280.00*	TR=25	8.90	2553.48	2556.22		2556.26	0.000072	0.82	10.89	4.24	0.16
eje centro valla	260.00*	TR=25	8.90	2553.48	2556.22		2556.25	0.000076	0.83	10.68	4.18	0.17
eje centro valla	240.00*	TR=25	8.90	2553.47	2556.21		2556.25	0.000080	0.85	10.49	4.13	0.17
eje centro valla	220.00*	TR=25	8.90	2553.46	2556.20		2556.24	0.000084	0.86	10.30	4.07	0.17
eje centro valla	200.00*	TR=25	8.90	2553.46	2556.19		2556.23	0.000089	0.88	10.11	4.01	0.18
eje centro valla	180.00*	TR=25	8.90	2553.45	2556.19		2556.23	0.000094	0.90	9.92	3.96	0.18
eje centro valla	160	TR=25	8.90	2553.20	2556.13		2556.19	0.000146	1.03	8.64	3.18	0.20
eje centro valla	120.00*	TR=25	8.90	2553.43	2556.14		2556.18	0.000115	0.96	9.28	3.78	0.20
eje centro valla	100.00*	TR=25	8.90	2553.43	2556.13		2556.18	0.000122	0.98	9.10	3.73	0.20
eje centro valla	80.00*	TR=25	8.90	2553.42	2556.12		2556.17	0.000129	1.00	8.93	3.67	0.20
eje centro valla	60.00*	TR=25	8.90	2553.41	2556.11		2556.16	0.000137	1.01	8.77	3.61	0.21
eje centro valla	40.00*	TR=25	8.90	2553.41	2556.10	2554.53	2556.15	0.000145	1.03	8.60	3.56	0.21
eje centro valla	20	TR=25	8.90	2553.40	2554.53	2554.53	2554.98	0.002547	2.95	3.02	3.45	1.01

Fuente. Autores

5 ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.1 Realinderacion de la Reserva tomas van de Hammen

Dentro de la hoya hidrográfica propuesta se identifica que gran parte del sector será destinado a urbanizaciones con el nuevo POT presentado por la alcaldía el resultado obtenido para conocer qué porcentaje de zona de estudio será destinado a la construcción dio más del 50 %, por lo que para la zona donde dé se encuentra ubicado el vallado principal será afectado en grandes dimensiones. Es decir que las mayorías de las zonas que hoy en día estas destinadas a agricultura, recreación pasaran a hacer calles en concreto o asfalto. La nueva Realinderacion de la reserva afectara como los predios que se encuentran al interior de la reserva como los que están afuera de ella ocasionando que haya más área construida.

5.1.2 Hidrología del sector

Con los resultados obtenidos una vez realizado el estudio hidrológico de la hoya hidrográfica propuesta se observa que los caudales máximos obtenidos para la reserva como se encuentra actualmente son altos, ya que la zona o el área de la hoya es amplia ocasionando que gran cantidad del agua precipitada termine llegando al vallado principal del costado norte de la avenida la conejera.

A continuación, se realiza la comparación de los caudales máximos obtenidos mediante el estudio hidrológico realizado para una reserva actual y una reserva realinderada.

Tabla 27. Comparación de caudales

Periodos de Retorno (Años)	Reserva TVDH actualmente	Reserva TVDH Realinderada
	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)
2	3,5	12
5	4.5	14,7
10	6.7	16,9
20	8.3	19.4
25	8.9	20,3
50	10.9	23.3

Fuente. Autores

En la Tabla 27 se observan los caudales calculados mediante el programa HEC-HMS, para diferentes periodos de retorno, teniendo dos escenarios principales que son con la reserva actualmente con terrenos naturales con pocas zonas construidas y otro con la reserva realinderada es decir aumentando su área construida, provocando que las zonas impermeables aumenten. Se puede observar que los caudales aumentan en grandes proporciones llegando casi a triplicar su valor.

Esto se debe a que al construirse nuevas construcciones en donde actualmente se tenía suelo natural, el agua lluvia no se filtrara si no que más bien se recolectara, como sabemos los suelos tienen la capacidad de adsorber agua hasta un punto, que es cuando el suelo está completamente saturado, este fenómeno es el que ayuda a que se formen acuíferos subterráneos, ayudando que el agua de escorrentía disminuya produciendo menores caudales en el punto de recolección que para este caso sería el vallado principal. Una vez se construyan o se urbanicen las zonas destinadas por el nuevo POT, el agua lluvia que se precipitará no se filtrara, sino que se tendrá que recolectar por lo que se obtienen grandes caudales.

Los caudales obtenidos para el escenario en el cual la reserva esta realinderada son muy altos, solamente para un periodo de retorno el caudal producido supera al caudal obtenido para un periodo de retorno de 50 años de la reserva como se tiene actualmente, la magnitud de dichos caudales no se podrán manejar por medio del vallado de que tiene actualmente, se tendrán que hacer más estudios para la distribución eficiente del agua lluvia, ya sean una red de alcantarillado en la cual sería la mejor opción.

El balance hídrico realizado en nuestra zona de estudio, nos muestra que por lo general en el sector la mayor parte del tiempo se presentan sequias a lo largo del año, sin embargo, en meses como abril y octubre se presentan precipitaciones muy altas provocando que el vallado principal no tenga a capacidad hidráulica, para controlar los caudales tan altos producidos por las precipitaciones dadas, haciendo que se puedan presentar múltiples inundaciones sobre a vía de la avenida la conejera.

5.1.3 Topografía

Por otro lado, cuando se realizó el levantamiento topográfico se identificó que el vallado en algunos sectores presenta gran cantidad de sedimento y material vegetal, por tal motivo se producen los estancamientos de agua lluvia, que ocasionan inundaciones a lo largo de la vía, también se observa que la pendiente que maneja el vallado es mínima, ya que la diferencia de cotas que se tienen en la zona son de aproximadamente 10 metros en 3320 metros que es la longitud del vallado principal, produciendo un tiempo de concentración.

El vallado presenta una geometría inestable, debido a la erosión del terreno en sus extremos, en algunos sectores el vallado desaparece ya que es tapado por arbustos

que hacen imposible su medición, estos arbustos nacen en los bordes del vallado y crecen cubriéndolo hasta taparlos completamente. Otro factor importante visto cuando se realizó el levantamiento topográfico es que a lo largo del vallado se presenta gran cantidad de basura y sedimento produciendo malos olores en algunos sectores de vallado.

6 CONCLUSIONES

Los caudales obtenidos de la modelación hidrológica con ayuda del programa HEC-HMS son altos para periodos de retorno de 20 a 100, lo cual indica que el vallado cuenta con una carga elevada de agua en temporada de lluvias, hay que mencionar que estos caudales pueden variar ya que dentro de la zona de estudio se encuentran lagos o estructuras de almacenamiento de agua y que fueron construidos por la comunidad de la zona, los cuales abastecen a los cultivos o ganado que se tienen en este sector.

Los caudales que se obtuvieron al simular la reserva realinderada son excesivamente altos, duplicando los caudales obtenidos de la reserva sin realinderar, esto se debe a que el agua no infiltrara en la tierra provocando una mayor recolección de agua lluvia en la zona. Por lo tanto, una vez realizado el modelo hidráulico se observa que el vallado actual no tiene la capacidad hidráulica para transportar el agua lluvia recolectada en una futura Realinderacion de la reserva Tomas Van Der Hammen.

Una vez realizada la modelación hidráulica para el vallado como se encuentra actualmente u otra suponiendo que se encuentra revestido en concreto, se observa que en mucho más eficiente un vallado revestido en concreto, obteniendo un mejor flujo del agua, aumentado su velocidad y provocando que la lámina de agua sea menor que a la obtenida en el caso del vallado excavado con raíces y maleza.

El comportamiento hidráulico del vallado de la avenida la conejera actualmente es eficiente sin embargo si se presentara una temporada de lluvias de periodos largos el vallado podría no tener la capacidad se drenar la cantidad de agua que se presenta en la zona, se puede observar que en la modelación la lámina de agua sale de las secciones, que indica que el vallado no tiene la capacidad hidráulica de drenar el agua lluvia producida para un TR=5 años, sin embargo para esta estimación afecta en gran parte la geometría del vallado, ya que en la topografía realizada se observa que el vallado no presenta una geometría uniforme. Por lo tanto, al realizar una adecuación del vallado realizando limpieza y perfilaciones en su geometría, la eficiencia del vallado para transportar el agua lluvia, mejoraría considerablemente.

Para un escenario den donde se tenga Realinderada la reserva, se tendrá que ampliar el vallado principal debido a los caudales producidos por la zona de estudio o realizar una nueva distribución de drenajes como los que se tienen en la ciudad actualmente, como lo son; sumideros, redes de alcantarillado pluvial, colectores canales y cunetas.

7 RECOMENDACIONES

Una vez terminado el proyecto se recomienda realizar un levantamiento topográfico más detallado, en donde se levante como eje principal en los vallados considerando las mediciones lo más reales posibles y el caso donde se hace difícil la medición de las dimensiones del vallado e identificando con exactitud los puntos donde se conectan más afluentes que contribuyen alimentando el vallado.

Complementar este estudio teniendo como base el cuerpo receptor que es el río Bogotá y también complementar el balance hídrico entre el vallado y el río Bogotá con el fin de tener claro el comportamiento y afectaciones que causa el caudal del vallado sobre el río Bogotá.

Realizar mediciones en campo, directamente sobre el vallado en temporadas de lluvia con el fin de determinar de primera fuente el caudal que pasa sobre este en temporadas donde se presentan grandes precipitaciones. Y realizar un registro durante el tiempo que duren las precipitaciones, también se puede realizar este monitores el los vallados que se encuentran al interior de la reserva tomas van der Hammen

Realizar una modelación más detallada del vallado identificando los sectores donde el vallado tiene que ser canalizado mediante tuberías con el fin de permitir el ingreso a los predios que se tienen en el sector.

Modelar el vallado considerando estructuras diferentes como los son Box Culvert alcantarillas, canales en concreto, con el fin de determinar cuál es la estructura más conveniente para el sector

8 BIBLIOGRAFIA

M. I. A. R. Ruberto, «guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental,» de ingeniería sanitaria y ambiental, Madrid- España, mundi-prensa, 2006.

Perry Gustavo, arquitectos y asociados Ltda.- contrato estatal de consultoría No. (162 de 2002). diagnostico e hipótesis de manejo para la declaratoria de la reserva forestal del norte.

Dirección general, Gerardo Ardila calderón, IEU-CES, Universidad nacional de Colombia – Instituto de estudios urbanos, proyecto corredor norte borde de Bogotá fase I, CAR septiembre 2010. disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5acba1d15f1f4.pdf>

Alcaldía mayor de Bogotá –Peñalosa Londoño Enrique, alcalde de Bogotá - la solicitud de recategorización, realinderecion y sustracción para la reserva forestal regional Thomas Van Der Hammen, disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b07111dab27f.pdf>

Londoño Diana Patricia, Pontificia Universidad Javeriana - Transversal 4ª núm. 42-00, primer piso, Edificio José Rafael Arboleda S.J, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987336/Calidad+del+sistema+hidroco+de+Bogot%C3%A1.pdf>

Ardila Calderón Gerardo, Antropólogo, proyecto borde norte de Bogotá fase 2, Universidad Nacional de Colombia disponible en: http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/3_Extension/Borde_Norte/Informe_Final_Borde_Norte_Fase2-IEU-2011.pdf

CAR, plan de manejo ambiental reserva forestal productora regional del norte de Bogotá D.C 'Thomas Van Der Hammen' disponible en: <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35721/28548.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Acuerdo 021 DE 2014 - Adopta Plan de Manejo Ambiental de la RFRPN de Bogotá D.C. - THOMAS VAN DER HAMMEN disponible en: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1151>

Amarilo, propuesta técnica y económica para la realización de la hidrología – Bogotá. D.C. informes de alternativas y diseño ingeniería conceptual (septiembre de 2016).

Uribe María Camila, Universidad Nacional de Colombia – debates de gobierno urbano, instituto de estudios-plan de ordenamiento zonal - áreas protegidas financiación de infraestructuras y viviendas de interés prioritario.

Secretaria distrital de planeación – Plan de Ordenamiento Territorial, lagos de torca disponible en: <http://www.sdp.gov.co/micrositios/lagos-de-torca/que-es>

Corporación Autónoma Regional CAR. Acuerdo CAR No.11. 2011 p.1-5.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, secretaria distrital de planeación – Estudios de soporte requeridos para la solicitud de realinderamiento, recategorización y sustracción para la reserva forestal productora regional THOMAS VAN DER HAMMEN en contexto con la upr norte y con la red de paisaje circundante - análisis específicos sobre la reserva Realinderada y el proceso de sustracción.

Cárdenas Edward Steven, Ramos Zandra Milena, Universidad de la Salle, facultad de ingeniería-Programa de ingeniería ambiental y sanitaria-contribución para una guía metodológica para la gestión de vallados producto del estudio en dos sectores del municipio de chía.

F. U. d. I. Andes, «UNIANDES,» 15 febrero 2016. Disponible en: www.uniandes.edu.co/es/noticias/ambiente-y-sostenibilidad/el-futuro-de-la-reserva-thomasvan-der-hammen/.

Manual de drenaje para carreteras. Diciembre de 2019. Ministerio de transporte, INVIAS.

MONSALVE, Germán. 1999. hidrología en la ingeniería. Segunda edición. Bogota : Ed. Escuela Colombiana de ingeniería, 1999. pág. 382. ISBN 958-95742- 1-1.

VISSMAN, Warren y LEWIS, Gary L. 2003. Introduction to hidrology. Quinta edición. s.l. : Ed. Prentice Hall, 2003. pág. 612. ISBN 9780673993373.

Unesco. 1981. Methods for Water Balance Computation. Instituto de Hidrología de España. España.

Anderson R., Hansen J., Kukuk K., Powell B. 2006, Development of a Watershed-based Water Balance tool for Water Supply Alternative Evaluations, Water Environment Foundation.

ANEXOS

ANEXO 1. Series e Hidrología del Proyecto

ANEXO 2. Levantamiento Topográfico

ANEXO 3. Global Mapper.

ANEXO 4. Modelo en HEC-HMLS

ANEXO 5. Modelo en HEC-RAS