

N/A

25510-2018-00463
Bogotá D.C., 7 de Marzo de 2018

Doctor
GERMÁN CAMILO BELLO ZAPATA
Director Técnico
Corporación Autónoma Regional de Cund
(Carrera 7 No. 36 – 45) **AV LA ESPERANZA**
Teléfono: 320 9000
Código Postal 110311
sau@car.gov.co
Bogotá D.C.

Departamento: BOGOTÁ D.C.
Código Postal: 111321339
Envío: RN9 1789447000
DESTINATARIO
Número Razón Social:
DOCTOR GERMAN CAMILO BELLO
ZAPATA DIRECTOR TECNICO CAR
Dirección: AV LA ESPERANZA No. 62
49 COSTADO ESPERA PISO 8 Y 7
Ciudad: BOGOTÁ D.C.
Departamento: BOGOTÁ D.C.
Código Postal:
Fecha Admisión:
12/03/2018 09:12:24
No. Transporte de despacho: 0000014702054700
Ley 1712 del 2014 (Ley de Modernización) 0000014702054700

472
Servicios Postales
Necoclense S.A.
NT 900 00291749
DC 25 035 A 55
Línea Nat. 01 8000 1111 210
REMITENTE
Número Razón Social:
EMPRESA DE ACUEDUCTO,
ALCANTARILLADO Y ASEO DE
BOGOTÁ FSP -
Dirección: AV CALLE 24 # 37 - 15
Ciudad: BOGOTÁ D.C.

CAR
DAF - GESTIÓN
DOCUMENTAL
Teléfono:
12 MAR 2018
CORRESPONDENCIA RECIBIDA
Anexos:
Cordial Saludo, Doctor Bello,
Quien Recibe:

Asunto: Respuesta a Solicitud de concepto (ZMPA) Río Bogotá. Oficio 20172142366 de la CAR. Sector predio "El Corzo"

Dando alcance al oficio del asunto en el cual se solicita a la EAB-ESP emitir concepto para la variación de la Zona de Manejo y Preservación Ambiental en el río Bogotá para el sector "El Corzo", con base en el proyecto de Adecuación Hidráulica desarrollado por la CAR. Se indica lo siguiente:

1. El modelo hidráulico del río Bogotá fue actualizado por la EAB-ESP mediante el contrato de consultoría No 2-02-25500-0813-2017 ejecutado por la empresa Escala Ingeniería Ltda., dentro de sus productos de diseño. A este oficio se anexa el numeral 3.5, 3.6 y 4 del Informe del Producto No. 2 del contrato de consultoría, en los cuales se describen los parámetros y criterios utilizados en la Modelación Hidráulica del Río Bogotá, construida desde Puente del común K98+192 hasta Alicachín K0+000.
2. La EAB-ESP para emitir concepto desde su competencia, considera importante señalar las conclusiones de Escala Ingeniería Ltda. con respecto al modelo hidráulico del río Bogotá:
 - *En relación con los planos suministrados por la CAR, es importante mencionar que los planos con vista en planta del proyecto no cuentan con información topográfica suficiente para obtener las secciones transversales del río que permitan definir los jarillones en ambas márgenes, por esta razón, fue necesario extraer la información directamente de las secciones récord, las cuales no coinciden de forma precisa con la topografía suministrada.*

M4FD1101F02-01

EAB - ESP

Av. Calle 24 # 37 - 15. Código Postal: 111321. Bogotá D.C. - Colombia.
PBX: (571) 3447000. www.acueducto.com.co



**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

[Handwritten signature]



- De acuerdo con la comparación realizada entre el modelo de la CAR (2008) y el modelo de Escala Ingeniería (2018), la siguiente Figura muestra un nivel de la lámina de agua superior para el modelo actual (Escala 2018) con respecto al modelo de la CAR, esto se debe a la diferencia en los análisis con respecto al cálculo del caudal (ver Tabla 1).

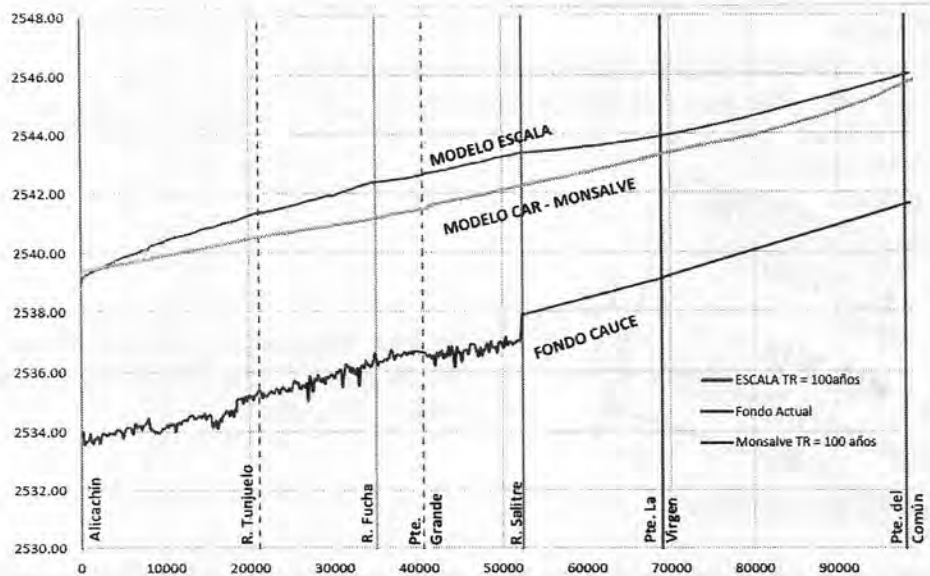


Figura 36. Comparación del modelo de Escala con el de la CAR - Monsalve.

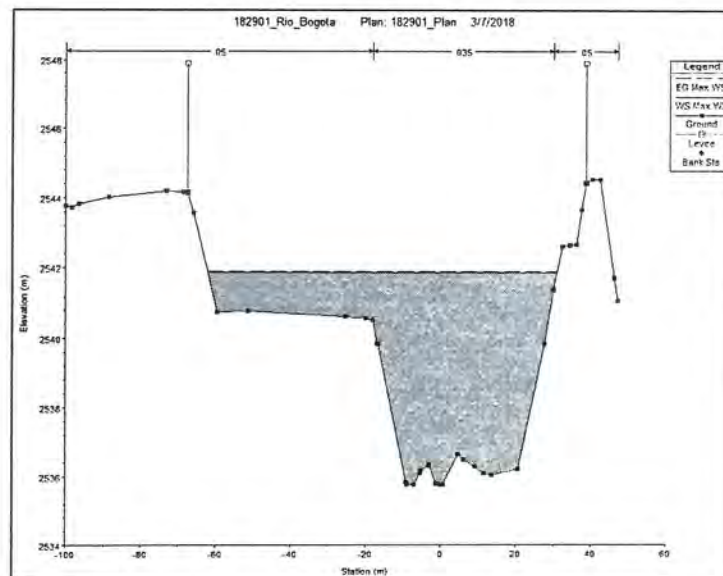
Sector	Caudal (m ³ /s)		
	CAR - Monsalve	Escala	Diferencia
Alicachín - Tunjuelo	110	180	70
Tunjuelo - Fucha	90	150	60
Fucha - Salitre	70	120	50

Tabla 12. Diferencias encontradas entre el modelo de la Car y el de Escala.

- Respecto al concepto sobre el riesgo de inundación, "de acuerdo con los resultados de la modelación hidráulica, para las condiciones de diseño de las obras de adecuación hidráulica del proyecto AHRARB de la CAR (Tr=100 años) y para los caudales de excedencia del 80% del tiempo, no se evidencia riesgo por amenaza por inundación a lo largo del río Bogotá, dado que los caudales modelados se encuentran contenidos dentro de la sección del cauce sin sobrepasar el nivel de la corona de los jarillones localizados en cada una de las márgenes del río.

La anterior apreciación es coherente con el Concepto Técnico de Amenaza emitido por el IDIGER para la ciudad de Bogotá, en el cual se determina que las obras adelantadas por la CAR han mitigado la amenaza por inundación por desbordamiento del río".

- Si bien a lo largo del río no se evidencia desbordamiento, la modelación indica que para la tormenta de diseño son los jarillones quienes deben soportar el evento. Se recomienda revisar con mayor profundidad las condiciones de las obras de contención construidas a lo largo del río y evaluar la ejecución de actividades que permita el refuerzo de las mismas en sectores críticos.
- Por otra parte, tal y como se señaló en el oficio anterior (25510-2017-01530), es importante tener en cuenta que la operación de las compuertas de Alicachín altera directamente el comportamiento del río en especial en eventos extremos de lluvias. Esta operación actualmente la realiza la empresa generadora de energía, pero es recomendable que el esquema de operación de la compuerta sea concertado entre las entidades, dado los efectos que puede ocasionar en la ciudad.
- Respecto al tramo de interés (Sector Predio "El Corzo" – K28+700) a continuación se presentan las secciones transversales del río en las cuales se evidencia que no se presenta desbordamiento.



CONCLUSION

Con base en el Artículo 110 del Decreto 190 de 2004, que establece que para la variación del ancho de la franja de la ZMPA se requiere el concepto previo de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá – EAB-ESP, de acuerdo a las competencias de la Empresa, se realizó la modelación hidráulica del Río Bogotá. De los resultados se evidencia que los niveles del río Bogotá con periodo de retorno de 100 años, de acuerdo con el escenario seleccionado quedan contenidos dentro de la estructura principal del río, es decir, en el cauce principal y las bermas de inundación (zonas de amortiguamiento o zonas multifuncionales) establecidas por la CAR.

M4FD1101F02-01

EAB - ESP

Av. Calle 24 # 37 - 15. Código Postal: 111321. Bogotá D.C. - Colombia.
PBX: (571) 3447000. www.acueducto.com.co



BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS



acueducto

AGUA, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ

Teniendo en cuenta el modelo, en las condiciones y supuestos que se indican anteriormente, el presente concepto concluye que no ocurre inundación a causa de desbordamiento del río Bogotá en el sector "El Corzo", por tanto, se da concepto favorable para que la entidad estudie bajo estos preceptos si es factible la variación de la zona de manejo y preservación ambiental del río Bogotá.

Atentamente,

URIEL RAMIRO GOMEZ SANABRIA
Gerente Corporativo Sistema Maestro

Elaboró: Ing. Minakshi Brand Torres – Especialista Hidráulica DRTA - Profesional DRTA
Revisó: Ing. Reinaldo Pulido – Profesional Especializado DRTA
Revisó: Ing. Lady Johanna Ospina Corso – Directora Red Troncal de Alcantarillado

MAT

M4FD1101F02-01

EAB - ESP

Av. Calle 24 # 37 - 15. Código Postal: 111321. Bogotá D.C. - Colombia.
PBX: (571) 3447000. www.acueducto.com.co



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS

ANEXO

**NUMERAL 3.5 – 4.0 DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL
RÍO BOGOTÁ PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO**

totalmente canalizado hasta el río Bogotá, en cuyo tramo su sección transversal es trapezoidal y tiene un ancho de aproximadamente 7 metros en la parte alta y 20 metros al final del canal³.

La subcuenca del Fucha se ubica en la zona central de la ciudad, entre los Cerros Orientales y el río Bogotá, y entre la avenida José Celestino Mutis y la avenida Ciudad de Villavicencio, cubre un área cercana a las 13.000 hectáreas urbanas y 4.545 hectáreas de la zona rural, ocupando alrededor del 30% de la superficie de Bogotá.

En la actualidad, el drenaje de esta subcuenca concentra las aguas lluvias en el río Fucha y las aguas residuales en los interceptores paralelos a los canales de la zona, pero dadas las condiciones de operación de los interceptores principales, la totalidad de las aguas es descargada de manera directa al río Bogotá.

3.4.2.3 Río Tunjuelo

El río Tunjuelo nace a unos 3800 msnm en el Páramo de Sumapaz gracias a la confluencia de los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital; en su parte alta, el río fluye en dirección sur a norte hasta la parte baja de la cuenca y desde ahí cambia su curso en dirección oeste hasta su desembocadura en el río Bogotá a 2570 msnm, durante todo este recorrido el río recorre una distancia aproximada de 73 kilómetros⁴.

La subcuenca del río Tunjuelo tiene una extensión aproximada de 41.427 hectáreas urbanas y 4.237 hectáreas rurales y en ella se asienta aproximadamente el 30% de la población de la ciudad. Esta subcuenca se caracteriza por el gran deterioro que presenta en relación a las coberturas y a la erosión, debidas principalmente a la intensa extracción de materiales para construcción y el desarrollo habitacional descontrolado.

3.5 Condiciones Hidráulicas del río Bogotá en el tramo de interés

De acuerdo con la información recibida por la EAB y algunos estudios previos consultados, en el presente numeral se presentan los resultados de los análisis de caudales realizados para el río Bogotá dentro de la zona de estudio.

3.5.1 Curvas de duración de caudales medios diarios

La construcción de las curvas de duración de caudales medios diarios a lo largo del río Bogotá, se realizó con base en la información histórica de los caudales horarios para estaciones limnigráficas operadas por la CAR y la EAB. En la Tabla 6 y en la **Figura 17** presentadas a continuación, se muestra la información de cada una de las estaciones tomadas a consideración y su respectiva localización geográfica.

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Categoría	Registro	Entidad
2120767	PUENTE FLORENCIA	5°02'31.1"N	73°51'11.6"W	2580	LG	2011-2017	CAR
2120792	TOCANCIPÁ	4°58'30.2"N	73°55'0.1"W	2580	LG	2011-2017	CAR
2120793	EL ESPINO	4°59'53.7"N	73°58'3.8"W	2585	LG	2011-2017	CAR

³ Información tomada del Estudio de actualización del Plan Maestro de Alcantarillado de la cuenca del Fucha, realizado por HMV Ingenieros en 2002.

⁴ Información tomada el Informe Técnico No. 01575, año 2015, Descripción y contexto de las cuencas hídricas del Distrito Capital de la Secretaría Distrital de Ambiente.

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Categoría	Registro	Entidad
2120811	PUENTE LA VIRGEN	4°48'3.8"N	74°05'57.8"W	2565	LG	1971-2013	EAB
2120888	EL CORTIJO	4°43'54.6"N	73°7'34.2"W	--	LG	1971-2013	EAB
--	GIBRALTAR	4°38'N	74°10'W	--	LG	2011-2017	EAB
2120211	LAS HUERTAS	4°35'16.9"N	74°14'42.5"W	--	LG	1973-2013	EAB

Tabla 6. Estaciones limnigráficas en el río Bogotá analizadas para el estudio
 Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Localización de las estaciones limnigráficas en el río Bogotá analizadas para el estudio

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en el **Gráfico 14**, **Gráfico 15**, **Gráfico 16**, **Gráfico 17**, **Gráfico 18**, **Gráfico 19** y **Gráfico 20**, se presentan las curvas de duración de caudales medios diarios para las estaciones en mención. Tal y como se esperaba, las curvas corresponden fielmente al comportamiento de una cuenca de pendiente considerable (cuenca media – alta del río Bogotá), para la cual los grandes caudales se presentan en breves periodos mientras que, por lo general, en la gran parte del tiempo se presentan caudales medios de acuerdo con la afluencia de otras fuentes.

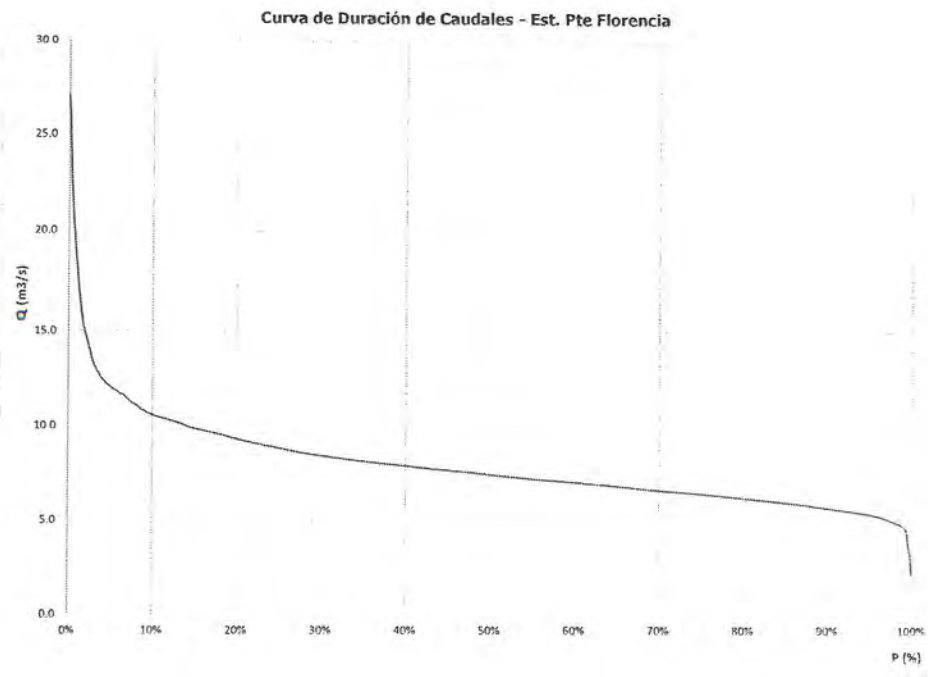


Gráfico 14. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120767 Est. Puente Florencia.
Fuente: Elaboración propia.

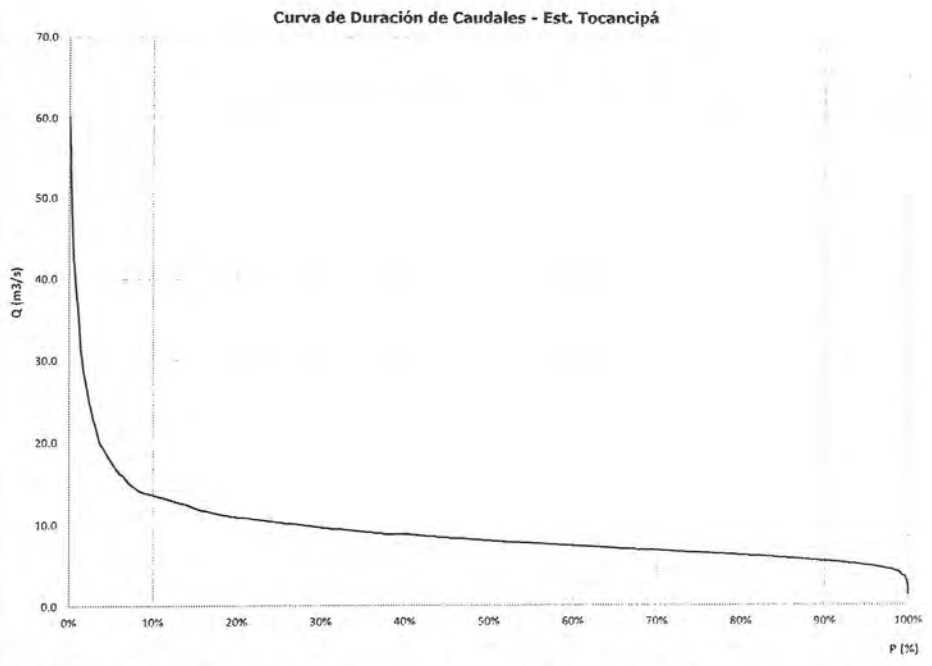


Gráfico 15. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120792 Est. Tocancipá.
Fuente: Elaboración propia.

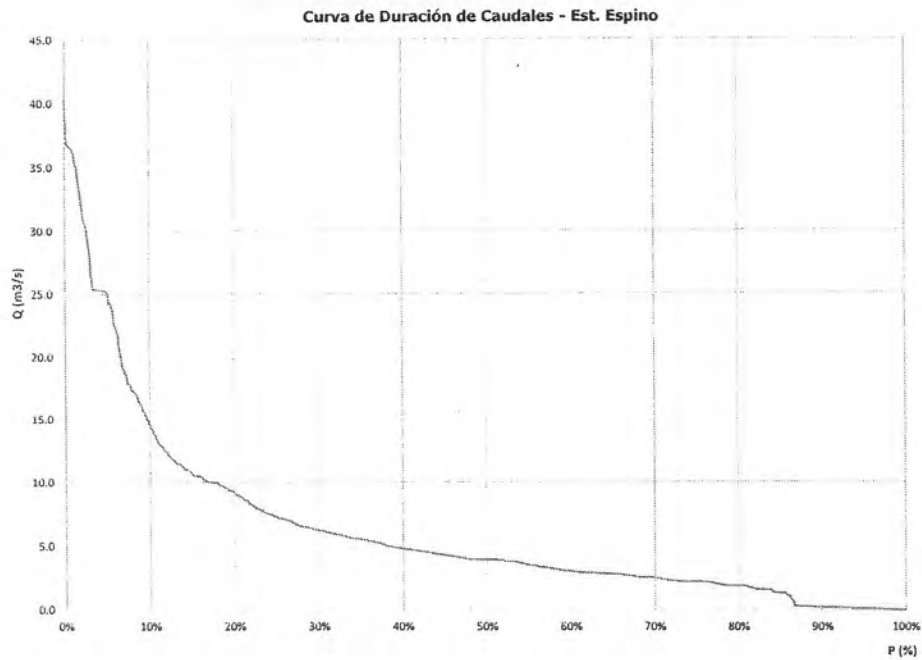


Gráfico 16. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120793 Est. El Espino.
Fuente: Elaboración propia.

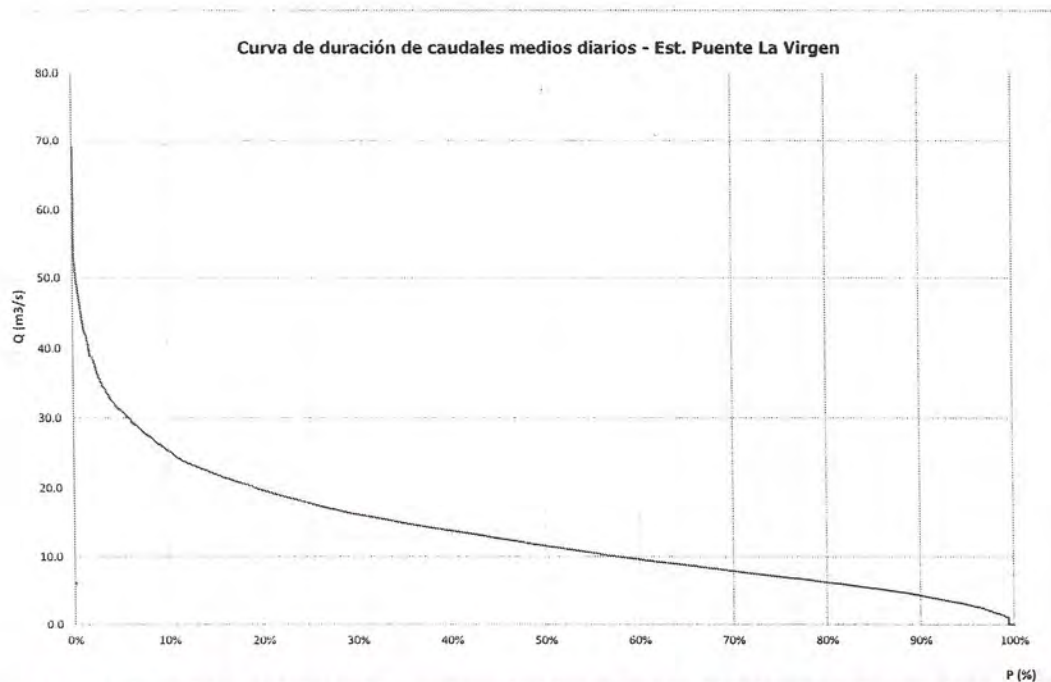


Gráfico 17. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120811 Est. Puente La Virgen.
Fuente: Elaboración propia.

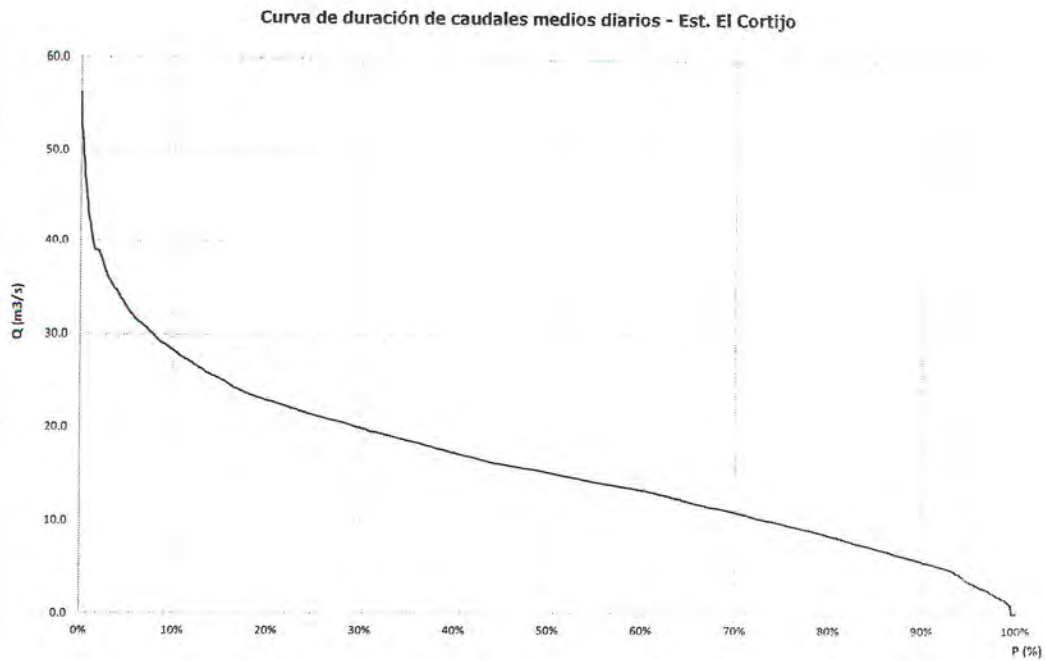


Gráfico 18. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120888 Est. Cortijo.
Fuente: Elaboración propia.

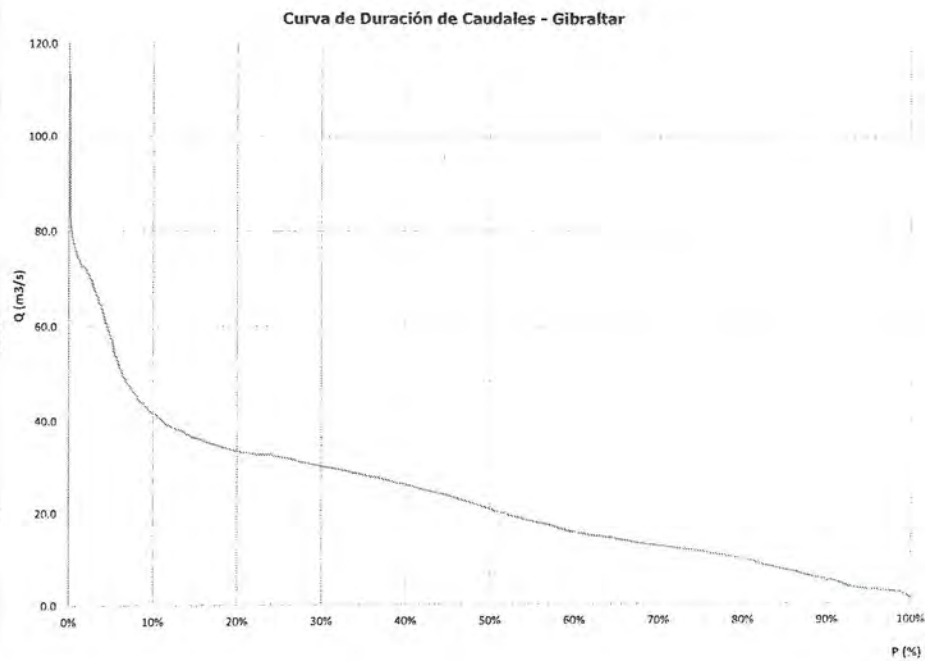


Gráfico 19. Curva de duración de caudales medios diarios – Est. Gibraltar
Fuente: Elaboración propia.



Gráfico 20. Curva de duración de caudales medios diarios – 2120211 Est. Las Huertas
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las futuras obras que se prevén a razón de la descontaminación del río Bogotá como la construcción de la PTAR y la estación elevadora de Canoas, y la puesta en operación de los interceptores de los ríos Tunjuelo y Fucha, se espera una disminución en los caudales registrados por las estaciones localizadas aguas abajo del río Fucha, debido a la desviación de las aguas vertidas que en la actualidad son transportadas por estos canales y descargadas de manera directa al río Bogotá.

3.6 Análisis de variabilidad y cambio climático para la zona de estudio

La localización geográfica de Colombia y las condiciones climatológicas a las que se encuentra sujeto nuestro país, hacen que sea recomendable analizar los cambios y variaciones en el comportamiento de algunas variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación, en función de las variaciones que se han presentado en los últimos años en las tendencias climáticas a nivel global.

La meteorología del país se encuentra sometida a las dinámicas propias de la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT, los océanos Pacífico y Atlántico, las cuencas Amazonas y Orinoco, las ondas planetarias, los fenómenos como El Niño y la Niña, y la influencia de los factores orográficos, que en definitiva hacen que la respuesta hidrológica de esta zona del continente sea compleja.

De acuerdo con los Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, se espera que para el año 2040 la temperatura media de Cundinamarca presente un aumento del orden de 0.8°C, mientras que la precipitación presentará una variación del orden de 7.99%; en la Figura 18 se presentan los mapas de temperatura y precipitación para los escenarios de cambio climático previstos.

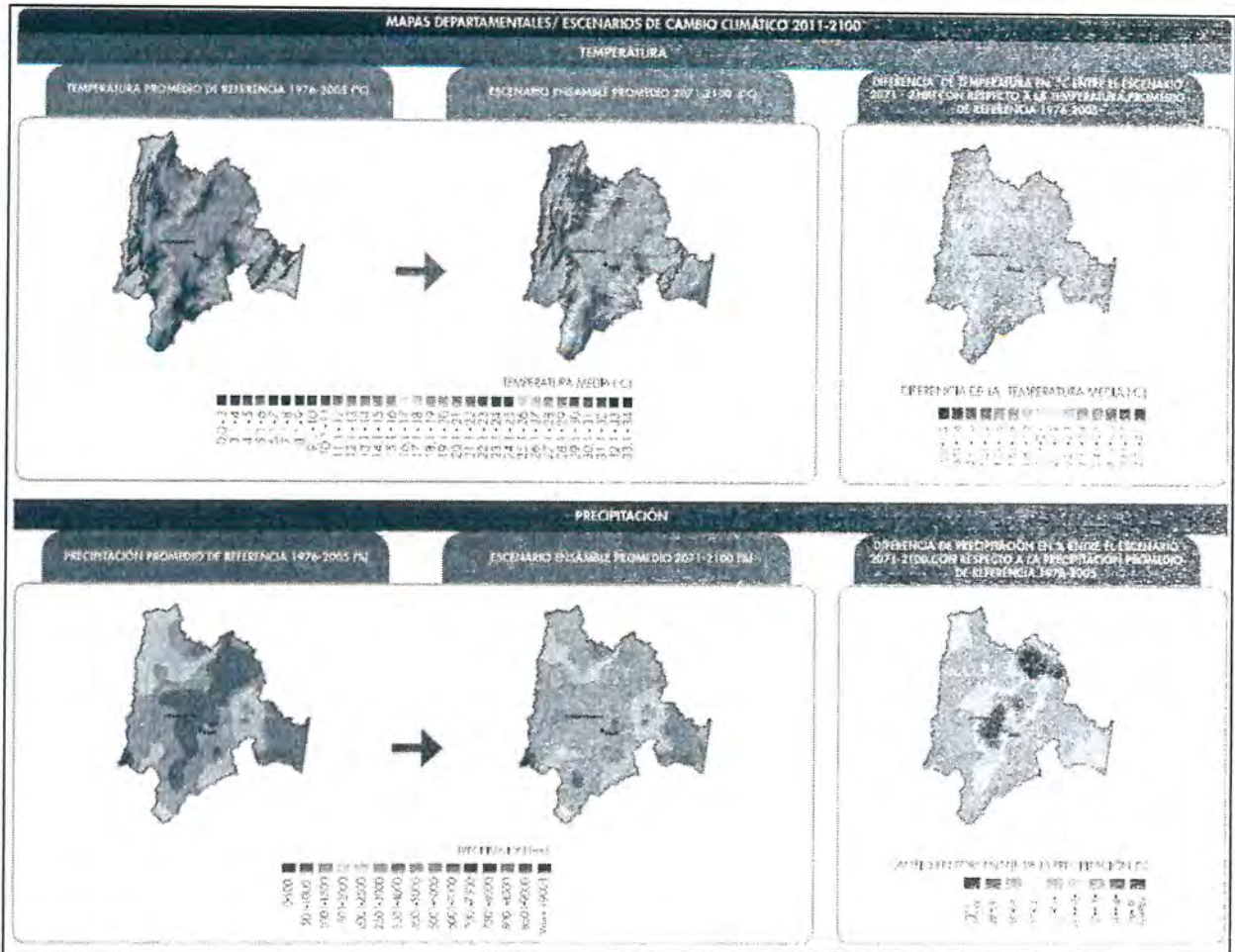


Figura 18. Mapas de escenarios de cambio climático 2011-2100 para el departamento de Cundinamarca.
Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, (2015).

Conforme con el Plan Regional Integral de Cambio Climático – Región Capital realizado para Bogotá y Cundinamarca en el año 2012 para el periodo comprendido entre el 2011 y el 2100, la región presentará aumentos progresivos de temperatura entre 2°C y 5°C y variaciones sectorizadas en la precipitación; por ejemplo, para la Sabana de Bogotá se registrarán aumentos de precipitación importantes de entre 20% y 30% de la precipitación actual.

Sin embargo, teniendo en cuenta que los diseños, tanto para el proyecto de AHRARB de la CAR, como para el presente estudio, consideran una situación crítica con un periodo de retorno de 100 años, los impactos del cambio climático y la variabilidad climática no comprometen en gran medida los análisis, pues estos pueden esperarse dentro de las condiciones de diseño.

4 MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO BOGOTÁ

En el siguiente aparte se realizará una descripción detallada del proceso llevado a cabo para la modelación hidráulica del río y un análisis de acuerdo con los resultados obtenidos.

4.1 Insumos para la modelación

A continuación, en la Tabla 7 se presenta una relación de los productos utilizados para la modelación hidráulica del río Bogotá de acuerdo con la información suministrada por la EAB y la CAR y con la información encontrada en algunos estudios y diseños previos.

Secciones hidráulicas del río

SECTOR	TRAMO	FUENTE
Alicachín	K00+000 A K00+265.88	Plano No. 188-04-G-700, Anexo No.2. HIDROESTUDIOS – BLACK & VEATCH. (1985)
Tramo A: Alicachín – R. Tunjuelo	K00+265.88 A K21+000	1.2_ST_RECORD_TRAMOA.dwg – CAR (2017)
Tramo B: R. Tunjuelo – R. Fucha	K21+000 A K35+600	2.2_ST_RECORD_TRAMOB.dwg – CAR (2017)
Tramo C: R. Fucha – R. Salitre	K35+600 A K40+400	3.2_ST_RECORD_TRAMOC.dwg – CAR (2017)
Tramo C: Calle 13 – R. Salitre	K40+905.64 A K52+200	1.2_ST_RECORD_TRAMOC_ADICION.dwg – CAR (2017)
Tramo D: R. Salitre – Pte. La Virgen	K52+470.99 A K68+962.72	ST_Diseño_KI52 – K69.dwg – CAR (2017)
Pte. La Virgen – Pte del Común	K69+758.360 A K98+192	Plano No. 3 (Hoja 1 a 10).dwg, Plano No. 3 (Hoja 11 a 20).dwg – MONSALVE, CAR (2011)

Tabla 7. Relación de información para la modelación hidráulica del río Bogotá⁵.
Fuente: Elaboración propia.

Caudales para las condiciones de flujo

Es importante resaltar que para la modelación hidráulica se contemplaron dos escenarios diferentes, la primera corresponde a la modelación del río bajo una condición de flujo no permanente para un periodo de retorno $Tr = 100$ años, y la segunda corresponde a la modelación del río bajo condiciones de flujo permanente para un caudal de excedencia del 80%.

A. Flujo no permanente ($Tr = 100$ años)

El caudal para las condiciones de borde al inicio del proyecto, (Puente del Común) se obtuvo a partir de los datos de caudales medios diarios de la estación 2120811 Puente La Virgen operada por la EAB en el periodo 1971 – 2013. La serie de tiempo utilizada se presenta en el Gráfico 21.

⁵ El abscisado empleado en la tabla en mención corresponde al abscisado del proyecto de AHRARB adelantado por la CAR.

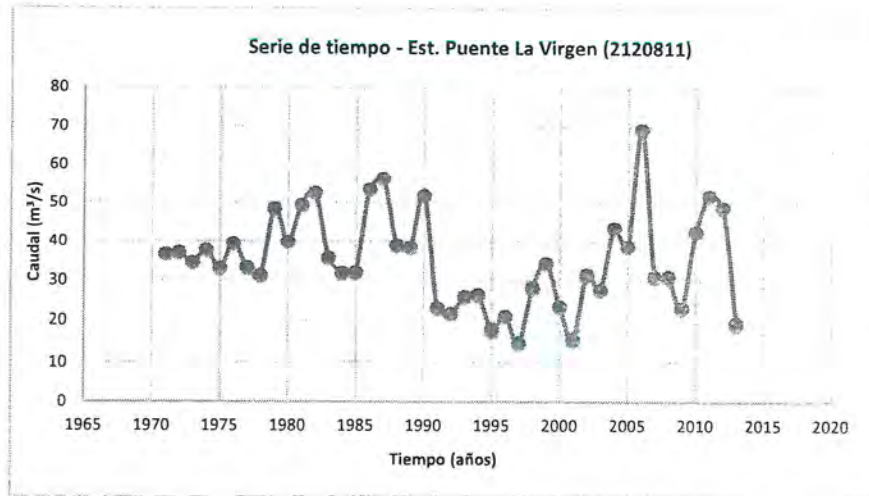


Gráfico 21. Serie de tiempo – Estación 2120811 Puente La Virgen.
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el caudal máximo asociado a un periodo de retorno de 100 años, este estudio se basó en la distribución de valores extremos, la cual ha sido ampliamente utilizada en análisis hidrológicos. Para la serie de tiempo de la estación Puente La Virgen, el caudal estimado es de 73.2 m³/s.

Las hidrógrafas de salida de los afluentes río Fucha, río Salitre y río Tunjuelo se obtuvieron del informe de HIDROESTUDIOS 2002, y se presentan en las siguientes figuras: Gráfico 22, Gráfico 23 y Gráfico 24.

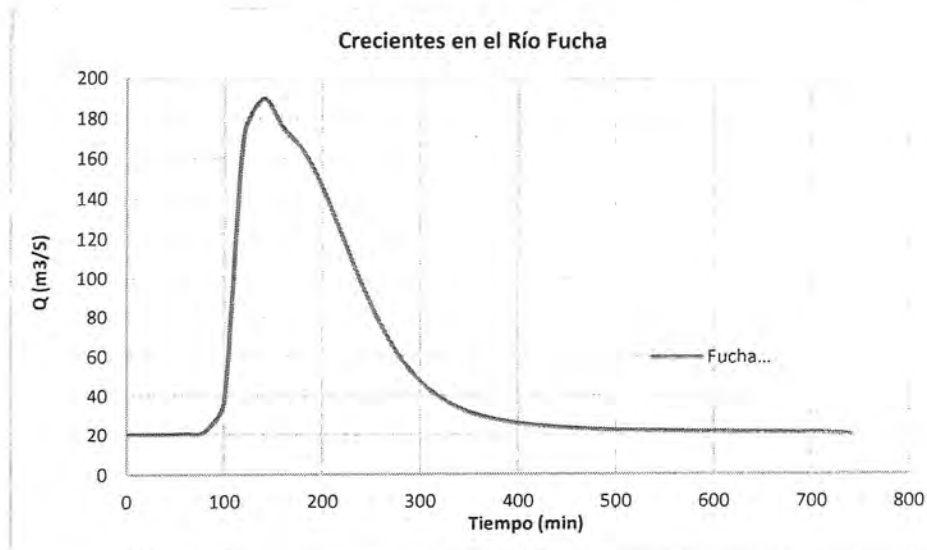


Gráfico 22. Hidrógrafa de salida del río Fucha.
Fuente: Hidroestudios, (2002).

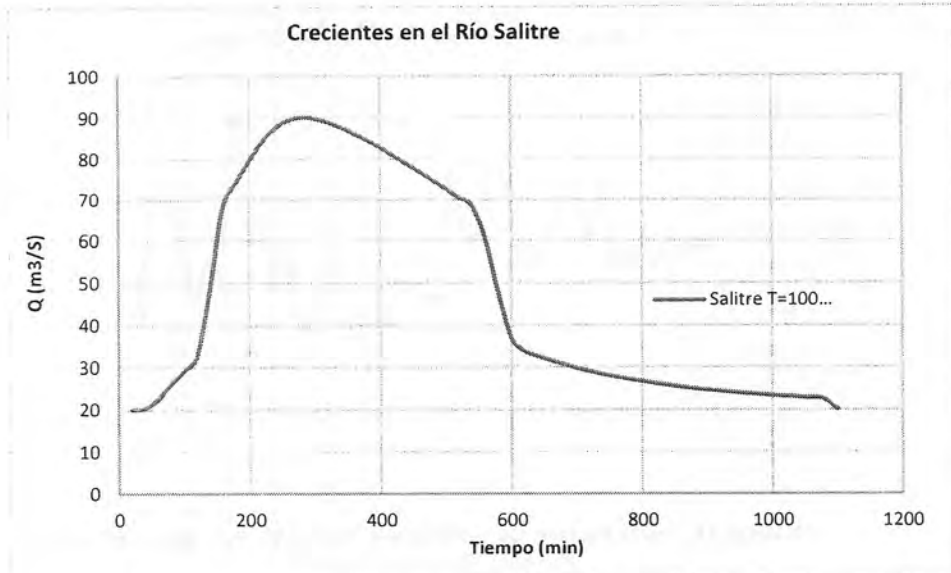


Gráfico 23. Hidrógrafa de salida del río Salitre.
Fuente: Hidroestudios, (2002).

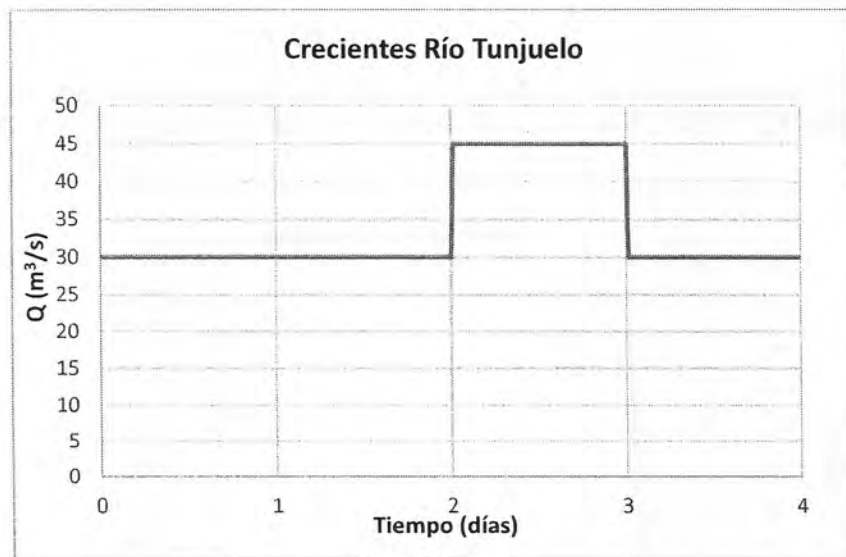


Gráfico 24. Hidrógrafa de salida del río Tunjuelo.
Fuente: Hidroestudios, (2002).

B. Flujo permanente ($Q_{80\%}$)

Los caudales para determinar el nivel de la lámina de agua que puede suministrar el río Bogotá durante todo el año, con probabilidad de excedencia del 80%, se obtuvo a partir de la curva de duración de caudales presentadas en el apartado 3.5.1.

4.2 Descripción del Modelo

La modelación hidráulica se realizó mediante la herramienta computacional HEC-RAS desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), que surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre proceso y post proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

HEC-RAS está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales en régimen permanente y no permanente en cauces naturales (ríos, estuarios, etc.) y canales artificiales (riego, derivación, etc.), que permite establecer el comportamiento del flujo a través de los mismos y el efecto de las estructuras como compuertas, alcantarillas, puentes, etc.

El programa permite hacer estimaciones del perfil de un flujo para condiciones subcríticas, supercríticas y de flujo mixto, haciendo visible las discontinuidades que puede llegar a sufrir el perfil cuando la energía del flujo es modificada abruptamente (resaltos hidráulicos y remansos), permitiendo simultáneamente la simulación del flujo a través de estructuras en línea o laterales al flujo con sus correspondientes métodos de cálculo independientes.

Así mismo, permite discutir los principales aspectos que permiten asegurar la validez o no de una simulación. Se discuten cuestiones como el espaciamiento entre secciones, análisis de las condiciones de contorno o división de la sección en canal principal y llanuras de inundación. También se discuten temas de contenido menos hidráulico y más numérico como el análisis de los avisos ("warnings") de cálculo y posibles problemas de convergencia que pueden aparecer en el cálculo.

4.2.1 Consideraciones generales

A continuación, se describen los aspectos de mayor relevancia durante el desarrollo de la modelación de acuerdo con la información suministrada y con los resultados del proceso.

1. En relación con los planos récord suministrados por la CAR, es importante mencionar que los planos con vista en planta del proyecto no cuentan con información topográfica suficiente para obtener secciones transversales del río que permitan definir los jarillones en ambas márgenes, por esta razón, fue necesario extraer la información directamente de las secciones récord, las cuales no coinciden de forma precisa con la topografía suministrada.

Así, por ejemplo, si se toma una sección del Tramo A (Alicachín – R. Tunjuelo), a la altura del kilómetro K3+600 se puede obtener la sección transversal a partir de la topografía y compararla con la sección récord.

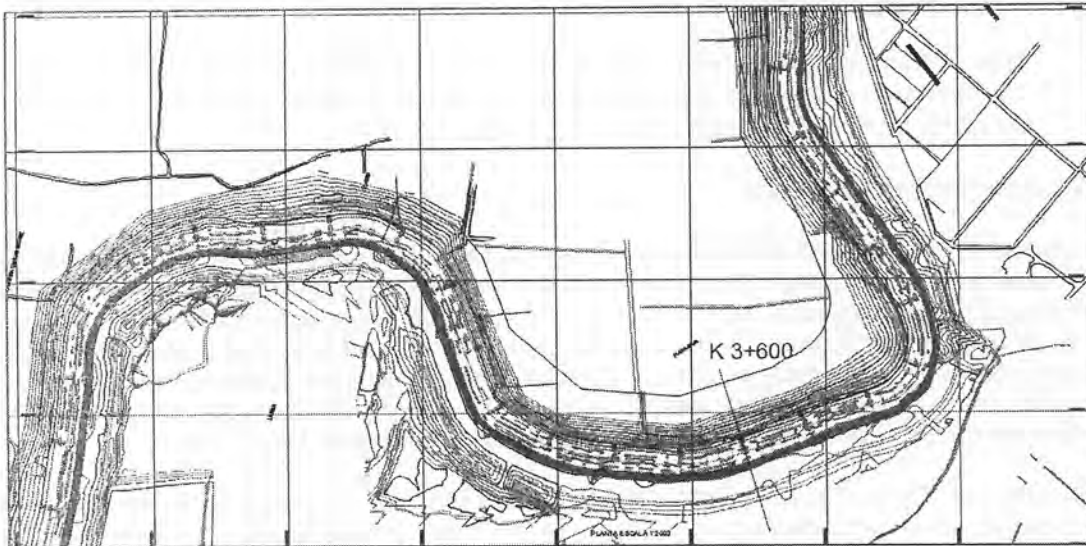


Figura 19. Planta del río Bogotá (abscisa K3+600).
Fuente: CAR, (2017).

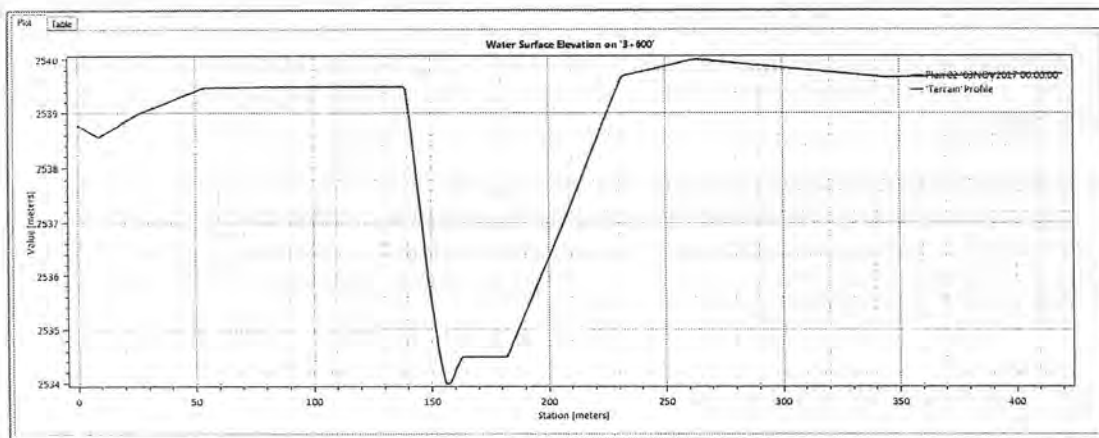


Figura 20. Sección transversal K3+600 (obtenida a partir de la topografía).
Fuente: Elaboración propia.

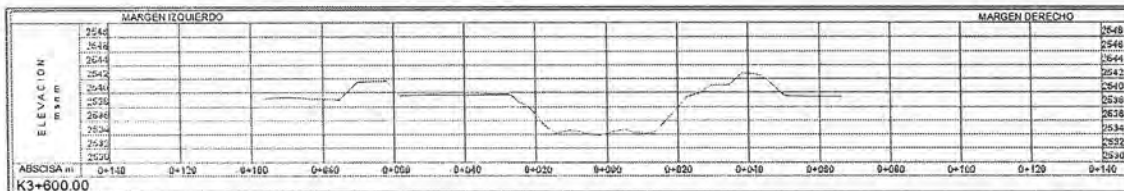


Figura 21. Sección transversal K3+600 (Sección Récord).
Fuente: CAR, (2017).

De acuerdo con las figuras Figura 19, Figura 20 y Figura 21 presentadas anteriormente es posible concluir que las secciones obtenidas de la topografía no coinciden totalmente con las secciones récord suministradas por la CAR; por ejemplo, la sección récord K3+600 presenta en su margen izquierdo el jarillón existente, mientras que en la sección obtenida a partir de la topografía no aparece dicho jarillón. Por esta razón, fue necesario tomar las secciones transversales récord para realizar el modelo hidráulico.

A partir de la superposición de las secciones transversales obtenidas de la topografía y de los planos récord del proyecto, tal y como se muestra en la Figura 22, es posible evidenciar que la información difiere una de la otra. Sin embargo, algunos de los tramos han sido construidos de acuerdo a los diseños teóricos establecidos.

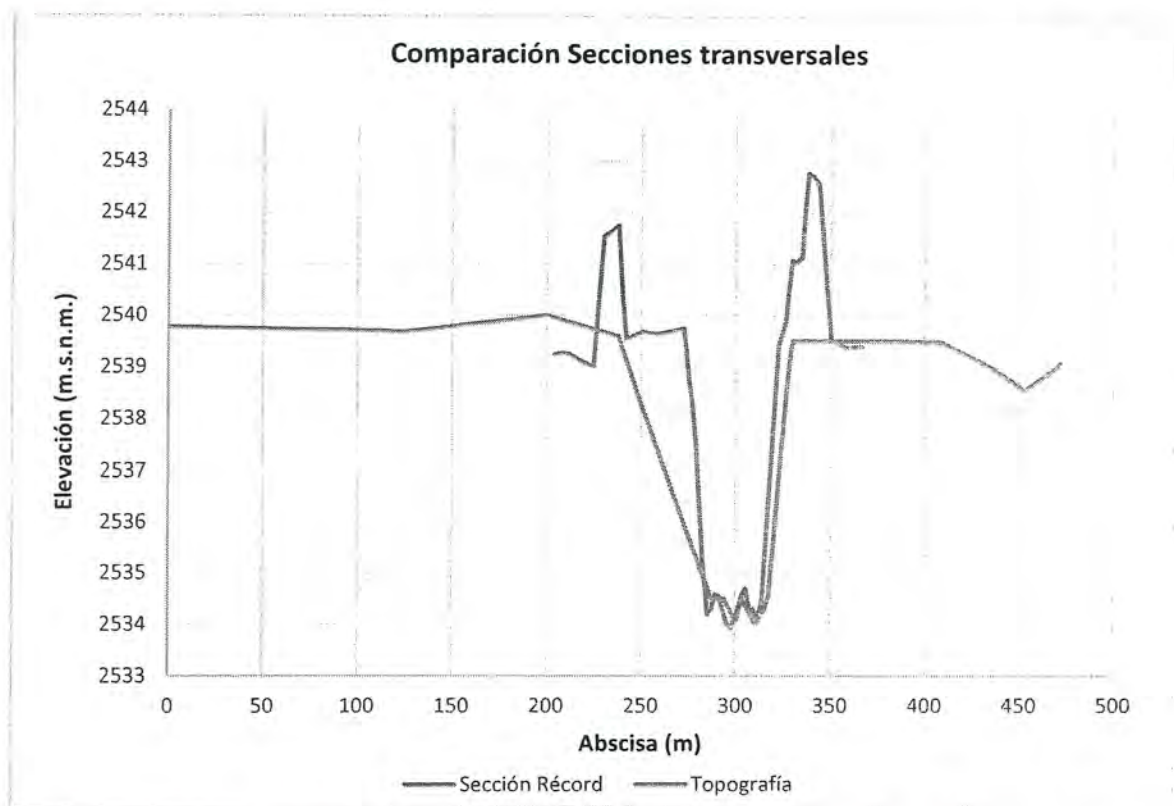


Figura 22. Secciones transversales K3+600 (obtenidas a partir de la información suministrada por la CAR).
Fuente: Elaboración propia.

2. Cabe resaltar además que en el tramo C definido por el proyecto AHRARB, existe una longitud aproximada de un kilómetro que no fue intervenida debido a los asentamientos urbanos, El Porvenir en el sector de Mosquera, y Casandra en la localidad de Fontibón, debido a su cercanía al río. Sin embargo, es importante resaltar que este sector la CAR ha venido adelantando algunas labores de reubicación y mantenimiento de los jarillones para la protección de la población, de acuerdo con las Fotografías 1 y 2.



Fotografías 1 y 2. Sector El Porvenir Mosquera, antes y después de las actividades de intervención de la CAR.
Fuente: CAR, (2017).

3. De la topografía suministrada por la CAR se puede evidenciar un "salto" de 75.0 cm en una longitud de 270 metros, según la abscisa K52+200 se tiene una cota de fondo de 2537.16 m mientras que la abscisa K52+470.99 tiene una cota de fondo de 2537.9 m, evidenciando el salto presentado; de aquí en adelante, la pendiente se mantiene constante.

En las Figuras Figura 23 y Figura 24 presentadas a continuación, se da evidencia de la inconsistencia encontrada. Al ser la información oficial se mantiene el modelo de esta manera y se usa con dicha salvedad.

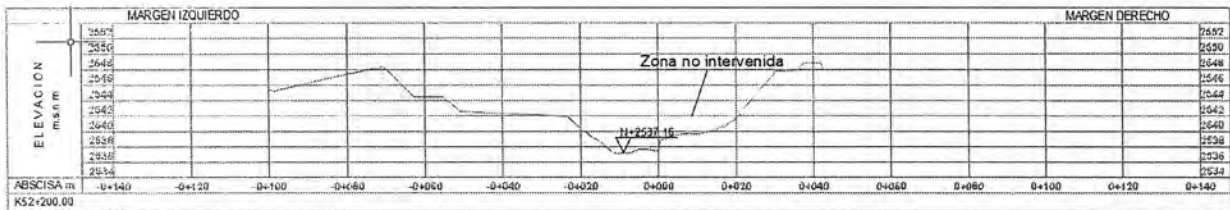


Figura 23. Sección transversal K52+200 (Sección Récord). Nivel de fondo: 2537.16
Fuente: CAR, (2017).

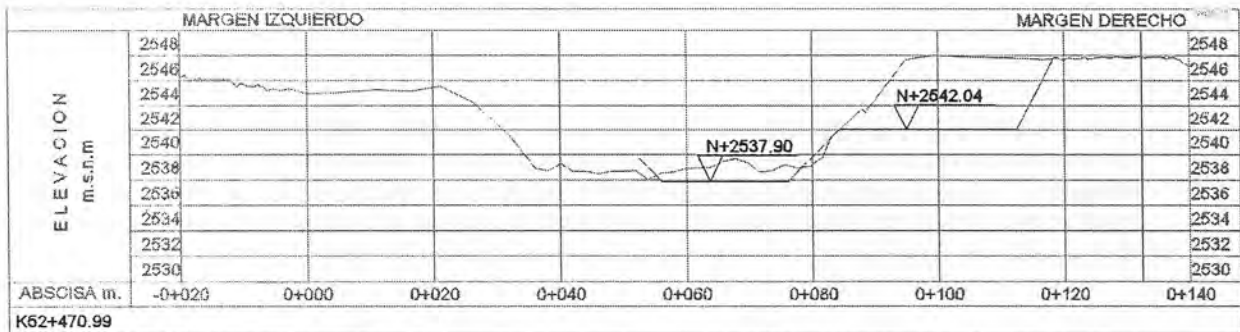


Figura 24. Sección transversal K52+470.99 (Sección Récord). Nivel de fondo: 2537.90
Fuente: CAR, (2017).

4.3 Metodología de modelación

Una vez definido el caudal que circula por el río Bogotá, se requiere estimar la lámina de agua para cada tramo del río con el fin de establecer los niveles de desbordamiento para el periodo de retorno de análisis.

De acuerdo con las secciones récord suministradas por la CAR, se procedió a construir el modelo topológico. Las secciones transversales a modelar, corresponden a la situación del cauce modificado en los tramos A, B y C definidos anteriormente. El tramo D y el tramo que va desde Puente La Virgen hasta el Puente del Común se modeló con las secciones de diseño presentadas en la Figura 25.

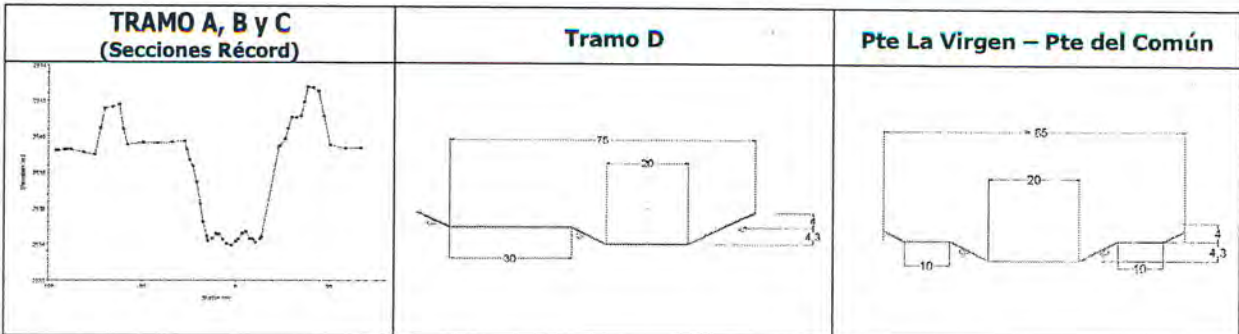


Figura 25. Secciones transversales del río en la zona de Estudio.
Fuente: Elaboración propia.

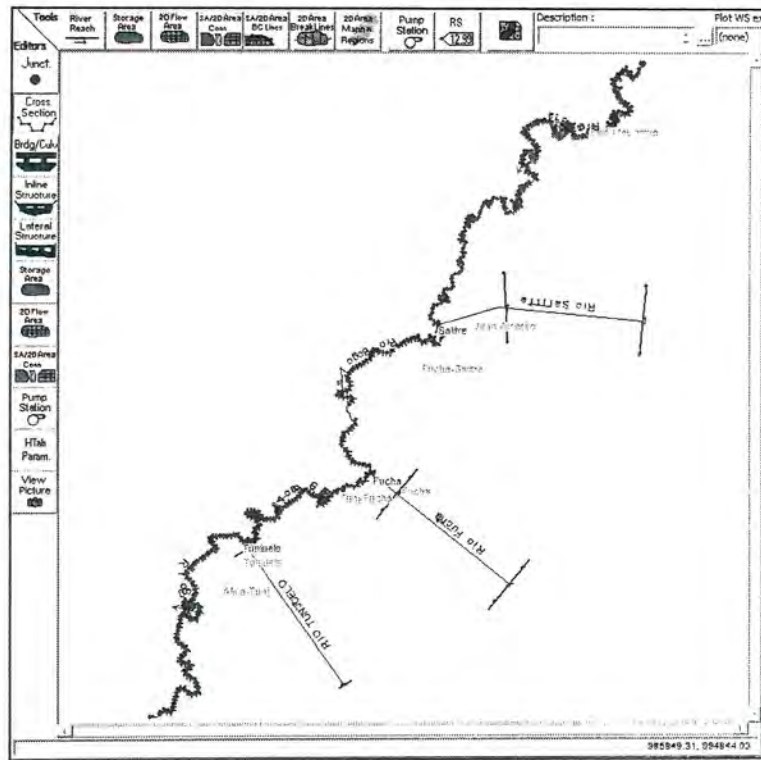


Figura 26. Geometría de la modelación en HEC-RAS. Río Bogotá
Fuente: Elaboración propia.

El número de Manning usado para describir la rugosidad del cauce se mantuvieron iguales a los encontrados el estudio previo del 2008 realizado por Germán Monsalve, utilizando valores del coeficiente de rugosidad de 0.035 para el canal y 0.05 para las bancas. De acuerdo con las condiciones geométricas del río, los coeficientes de contracción y expansión asumidos fueron 0.1 y 0.3 respectivamente.

Finalmente, la definición de la geometría adoptada hasta las compuertas de Alicachín, se realizó con base en el estudio de Monsalve del 2008, con una sección rectangular de 25 metros de base, tal y como se muestra en la Figura 27.

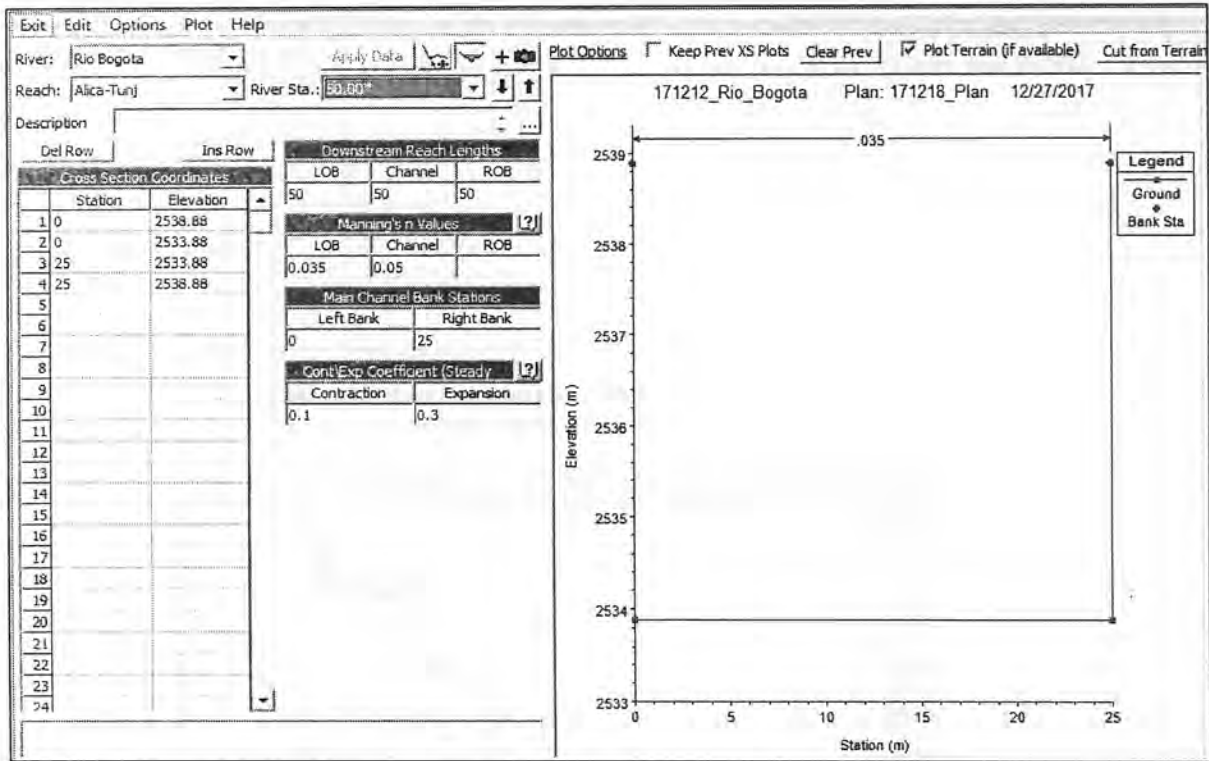


Figura 27. Canal rectangular. Sector: compuertas de Alicachín.
Fuente: Elaboración propia.

Dadas las condiciones geológicas de la zona, la intervención del Río se realizó desde la abscisa K0+250 en adelante, en donde la abscisa K0+000 corresponde a las compuertas ubicadas en el sector de Alicachín.

4.4 Modelación de puentes a lo largo del río

Con el fin de construir un modelo que simulara en gran medida las condiciones reales del río, la modelación hidráulica incluyó la modelación de los puentes a lo largo del río localizados en la zona de estudio; en este tramo pueden encontrarse quince puentes de acuerdo con la información presentada en la Tabla 8, mientras que en la Figura 28 se presenta un ejemplo de la modelación de esta infraestructura.

No.	NOMBRE	UBICACIÓN
1	Puente Autopista Medellín	K51+160
2	Puente Sur Autopista Medellín	K51+130
3	Puente metálico Parque La Florida	K48+523
4	Puente La Florida Calle 64	K47+758
5	Puente Catam	K44+760
6	Puente metálico tubería Aeropuerto	K44+130
7	Puente Línea Ferrea	K41+300
8	Puente Calle 13 Tubería 38"	K40+826
9	Puente Nuevo Calle 13	K40+784
10	Puente Antiguo Calle 13	K40+764
11	Puente Salazar	K37+771
12	Puente San Francisco	K35+684
13	Puente La Balsa "Canoas"	K08+060
14	Puente ALO (Icollantas)	K00+990
15	Puente Alicachín	K00+139

Tabla 8. Ubicación de los Puentes a lo largo del Río Bogotá
Fuente: Elaboración propia.

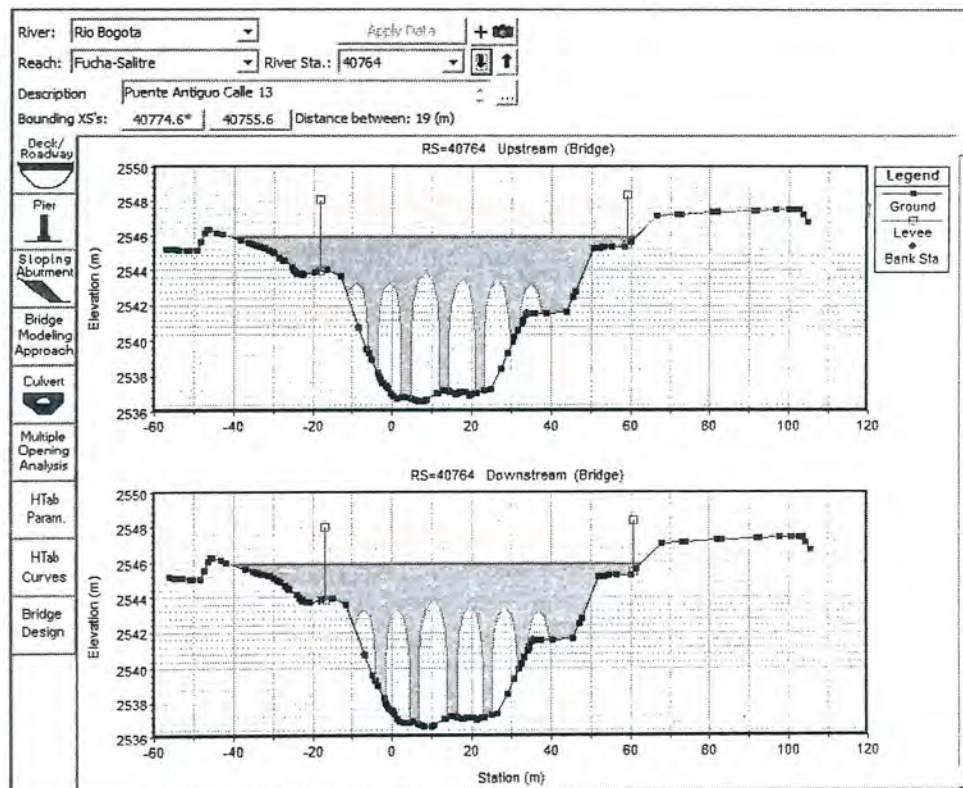


Figura 28. Modelo del puente antiguo de la calle 13 en HEC-RAS. (Abscisa K40+764)
Fuente: Elaboración propia.

4.5 Análisis de Flujo Permanente y no Permanente

De acuerdo con los términos de referencia del contrato, en este numeral se presentan los resultados obtenidos de la modelación en condiciones de flujo permanente, para caudales máximos anuales para un periodo de retorno de 100 años y caudales mínimos presentes el 80% del tiempo en un año, obtenidos a partir de las curvas de duración de caudales de las estaciones del río Bogotá de acuerdo con el numeral 3.5.1 del presente informe.

4.5.1 Caudales Máximos

De acuerdo con las consideraciones generales del apartado 4.2.1, el perfil longitudinal del río Bogotá tiene una pendiente aproximada $S_0 = 7 \times 10^{-5}$, presentando un "salto" de 80 cm en el fondo del río entre las abscisas K52+200 y K52+400, sector en el que se presenta el aporte (afluente) del río Salitre al río Bogotá. Para efectos del cálculo del modelo, este salto no es representativo en los resultados obtenidos, debido a su baja magnitud y no se considera relevante ya que la altura de la lámina de agua obtenida no se aleja de la realidad.

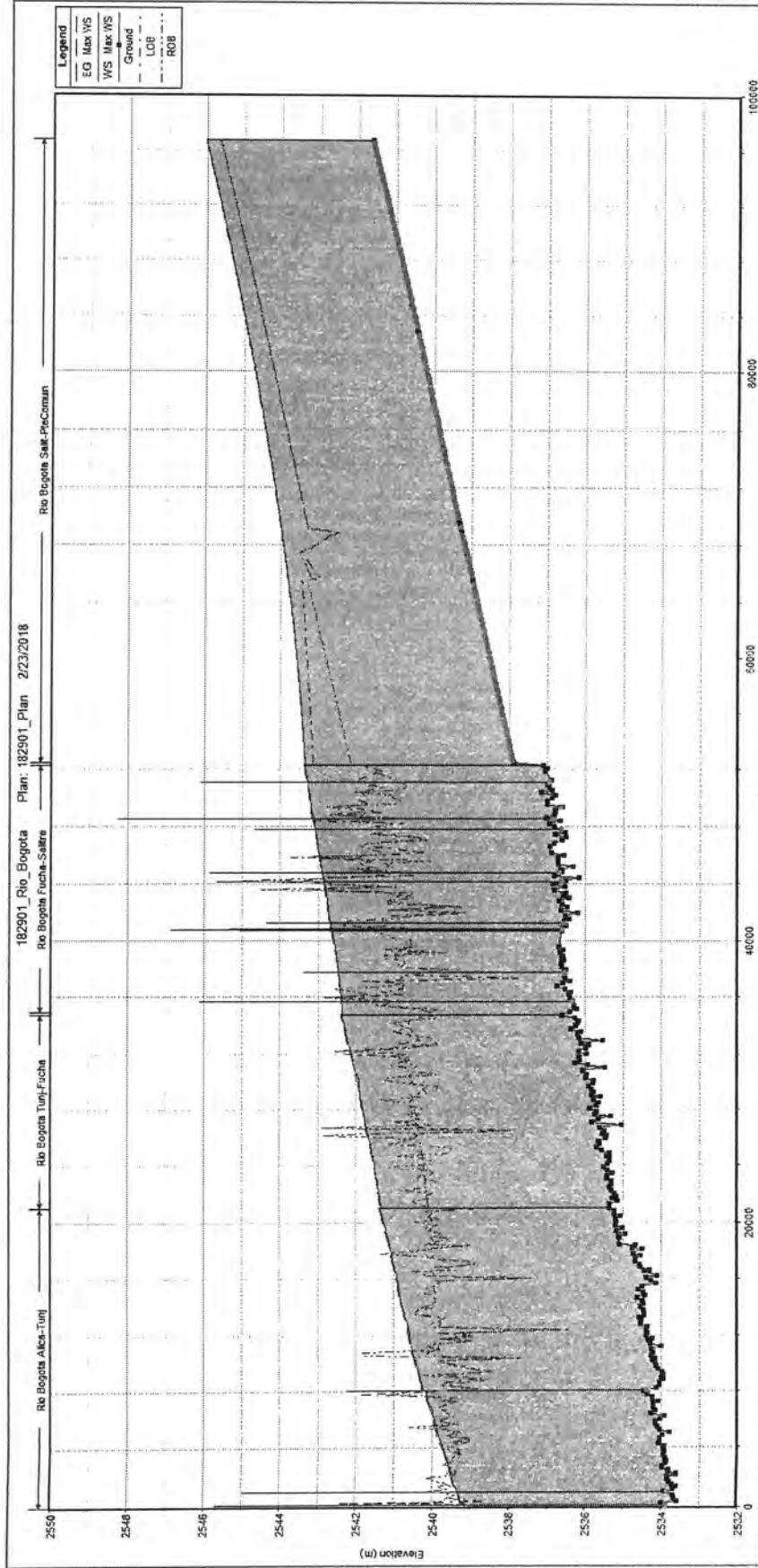


Figura 29. Perfil longitudinal del Río Bogotá. Caudales máximos T=100años (compuertas de Alicachín – Pte del Común)
Fuente: Elaboración propia.

Sector	Abscisa	Cota de la lámina T 100 años	Fondo del cauce m.s.n.m.	Lámina de agua (m)
	0	2539.00	2533.88	5.12
	3800	2539.71	2533.96	5.75
	10100	2540.44	2534.16	6.28
	17800	2541.07	2534.75	6.32
	21000	2541.34	2535.35	5.99
Río Tunjuelo	21100	2541.34	2535.35	5.99
	25500	2541.62	2535.62	6.00
	28700	2541.87	2535.77	6.10
	32800	2542.21	2536.12	6.09
	34800	2542.37	2536.62	5.75
Río Fucha	35000	2542.37	2536.41	5.96
	37600	2542.46	2536.57	5.89
	41400	2542.69	2536.57	6.12
	45600	2542.94	2536.71	6.23
	50000	2543.23	2536.86	6.37
	52200	2543.36	2537.11	6.25
Río Salitre	52400	2543.36	2537.90	5.46
	57967.3	2543.50	2538.31	5.19
	63980.0	2543.70	2538.76	4.94
Pte la Virgen	69000	2543.91	2539.13	4.78
	73999.3	2544.20	2539.58	4.62
	80969.9	2544.67	2540.17	4.50
	89240.1	2545.28	2540.86	4.42
	93244.9	2545.58	2541.19	4.39
Pte del Común	98092.9	2545.96	2541.59	4.37

Tabla 9. Altura de la lámina de agua para caudales máximos (T=100 años)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 29 y la Tabla 9, los resultados presentan una altura promedio de la lámina de agua de 5.50 metros a lo largo del río Bogotá.

La Figura 30, muestra el nivel de la lámina de agua para un caudal máximo asociado a un periodo de retorno de 100 años.

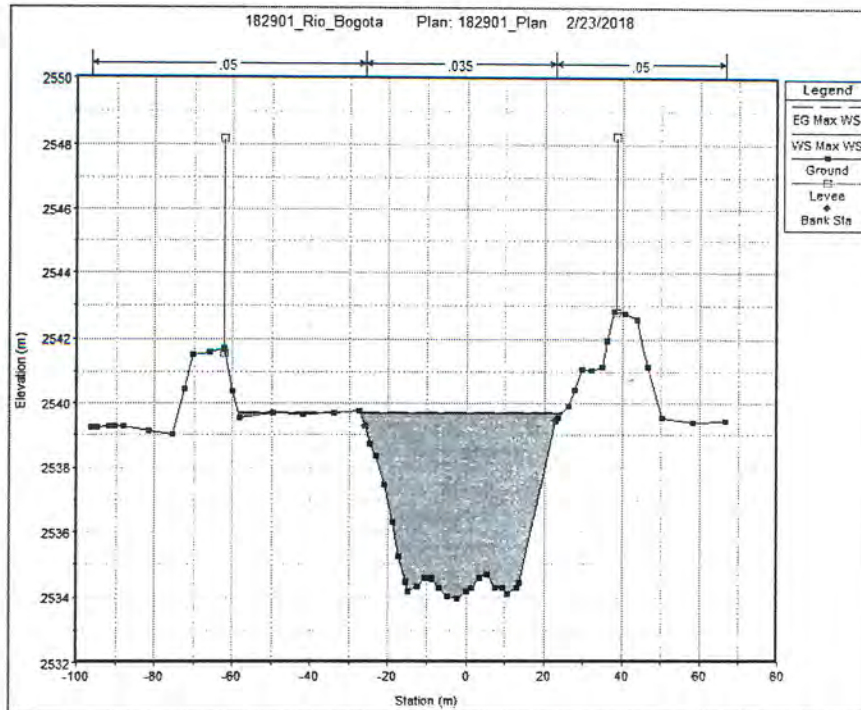


Figura 30. Nivel de la lámina de agua (Caudal máximo T=100 años). Abscisa K3+600
Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para analizar la capacidad hidráulica de la zona inundable al río para las condiciones de diseño, es necesario evaluar el porcentaje de agua que es amortiguado por la berma. Por ejemplo, para la abscisa K37+600, del tramo C, los resultados de la modelación para un periodo de retorno de 100 años indican que en la zona inundable en la margen derecha se conduce un caudal de 8.40 m³/s del total del caudal correspondiente a 81.75 m³/s, equivalente a un 10% del caudal que fluye por el río en ese punto, tal y como se presenta en la Figura 31 y en los datos de la Figura 32.

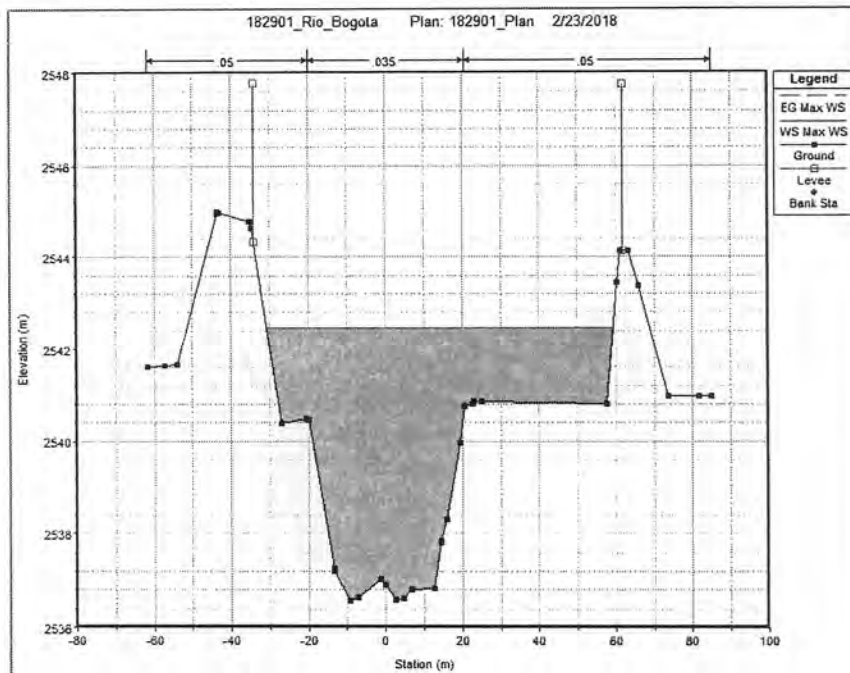


Figura 31. Zona inundable (berma), margen derecha. Abscisa K37+600
Fuente: Elaboración propia.

River:	Rio Bogota	Profile:	Max WS		
Reach:	Fucha-Salitre	RS:	37600		
Plan: 100		Plan: 100			
Plan: 100 Rio Bogota Fucha-Salitre RS: 37600 Profile: Max WS					
E.G. Elev (m)	2542.46	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.01	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	2542.46	Reach Len. (m)	200.00	200.00	200.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	18.58	200.72	61.55
E.G. Slope (m/m)	0.000026	Area (m ²)	18.58	200.72	61.55
Q Total (m ³ /s)	92.72	Flow (m ³ /s)	2.58	81.75	8.40
Top Width (m)	90.19	Top Width (m)	11.00	40.58	38.61
Vel Total (m/s)	0.33	Avg. Vel. (m/s)	0.14	0.41	0.14
Max Chl Dpth (m)	5.89	Hydr. Depth (m)	1.69	4.95	1.59
Conv. Total (m ³ /s)	18349.3	Conv. (m ³ /s)	510.8	16176.8	1661.7
Length Wtd. (m)	200.00	Wetted Per. (m)	11.54	42.37	39.25
Min Ch El (m)	2536.57	Shear (N/m ²)	0.40	1.19	0.39
Alpha	1.36	Stream Power (N/m s)	0.06	0.48	0.05
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m ³)	56.19	606.06	72.82
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m ²)	44.35	132.03	38.93

Figura 32. Resultados de la modelación en HEC-RAS. Abscisa K37+600
Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Caudales Mínimos

El caudal mínimo probable que puede suministrar el río Bogotá durante todo el año, se obtuvo a partir de la curva de duración de caudales para una probabilidad de excedencia del 80%, es decir, que el 80% del tiempo (un año) se cuenta con un caudal mínimo. De la curva de duración de caudales para cada una de las estaciones analizadas, se obtuvieron los caudales mínimos, los cuales se presentan en la Tabla 10.

Código	Nombre	Q _{80%} (m ³ /s)
2120767	PUENTE FLORENCIA	6.16
2120792	TOCANCIPÁ	6.21
2120793	EL ESPINO	1.87
2120811	PUENTE LA VIRGEN	6.3
2120888	EL CORTIJO	8.42
--	GIBRALTAR	10.17
2120211	LAS HUERTAS	19.71

Tabla 10. Caudales mínimos obtenidos a partir de la curva de duración de caudales
Fuente: Elaboración propia.

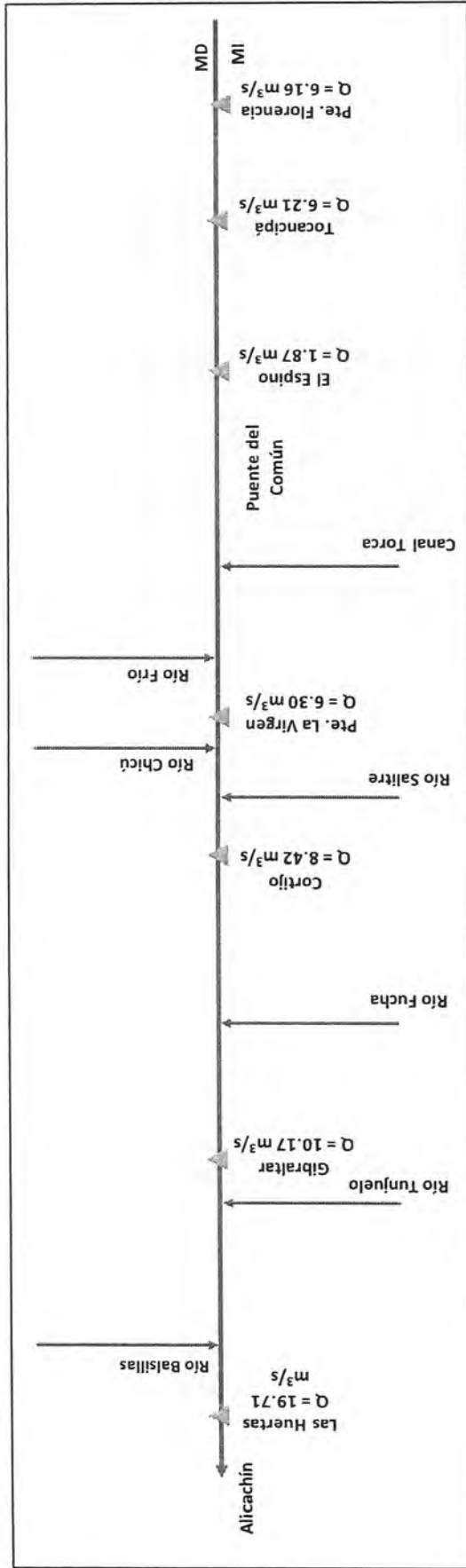


Figura 33. Ubicación esquemática de las estaciones utilizadas del modelo para caudales mínimos
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la lámina de agua para la modelación realizada para caudales mínimos (80%) se presentan a continuación:

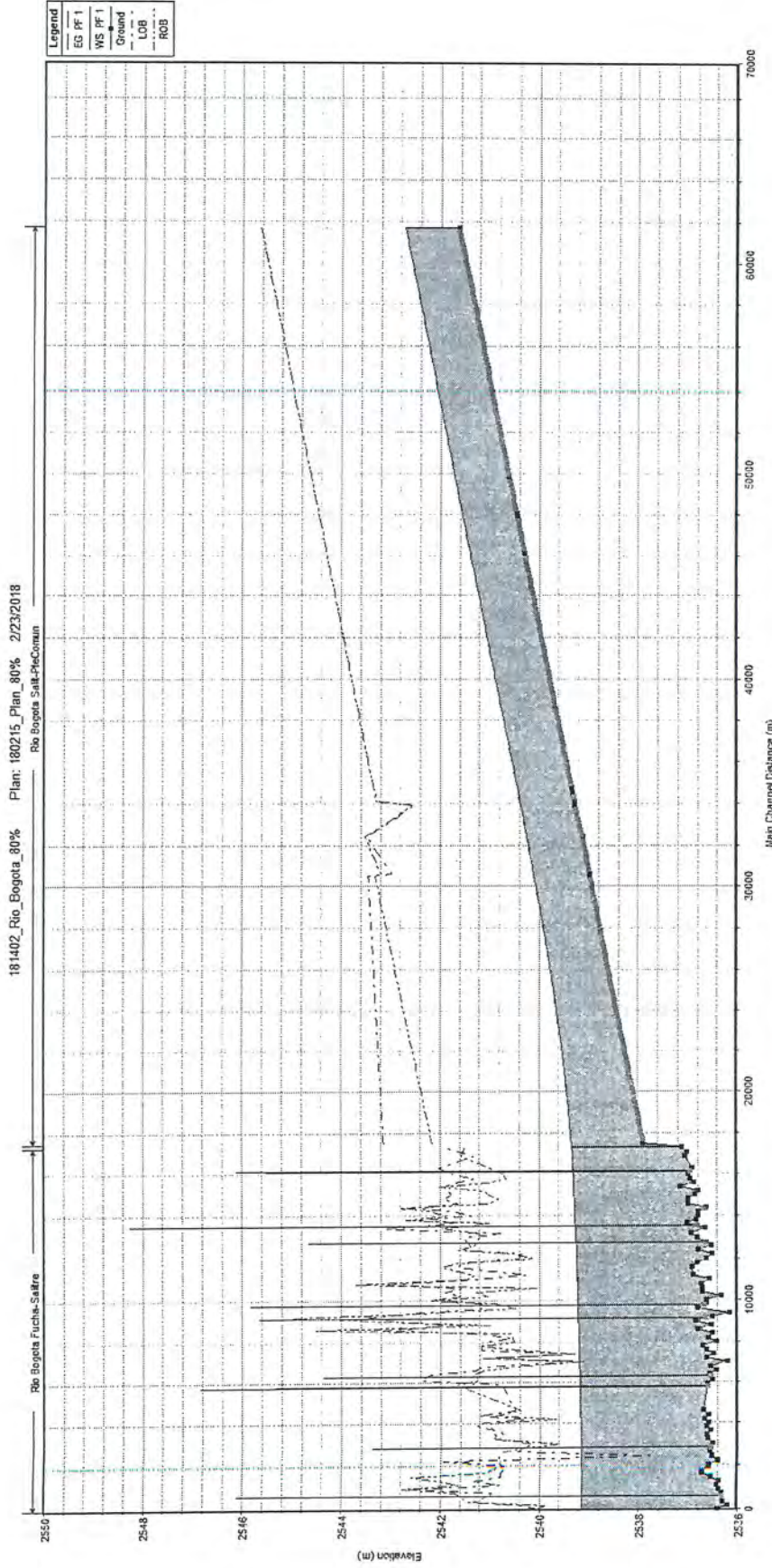


Figura 34. Perfil longitudinal del Río Bogotá. Caudales mínimos 80% (compuertas de Alicachín – Pte del Común)
Fuente: Elaboración propia.

Sector	Abscisa	Cota de la lámina (Q min - 80%)	Fondo del cauce m.s.n.m.	Lámina de agua (m)
	0	2539.00	2533.88	5.12
	3800	2539.01	2533.96	5.05
	10100	2539.03	2534.16	4.87
	17800	2539.06	2534.75	4.31
	21000	2539.08	2535.35	3.73
Río Tunjuelo	21100	2539.09	2535.35	3.74
	25500	2539.10	2535.62	3.48
	28700	2539.11	2535.77	3.34
	32800	2539.13	2536.12	3.01
	34800	2539.14	2536.62	2.52
Río Fucha	35000	2539.14	2536.41	2.73
	37600	2539.16	2536.57	2.59
	41400	2539.19	2536.57	2.62
	45600	2539.23	2536.71	2.52
	50000	2539.29	2536.86	2.43
	52200	2539.34	2537.11	2.23
Río Salitre	52400	2539.35	2537.90	1.45
	57967.3	2539.56	2538.31	1.25
	63980.0	2539.91	2538.76	1.15
Pte la Virgen	69000	2540.25	2539.13	1.12
	73999.3	2540.68	2539.58	1.10
	80969.9	2541.26	2540.17	1.09
	89240.1	2541.95	2540.86	1.09
	93244.9	2542.28	2541.19	1.09
Pte del Común	98092.9	2542.67	2541.59	1.08

Tabla 11. Altura de la lámina de agua para caudales mínimos (80%)

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la Figura 35 muestra el nivel del agua para la mayor parte del tiempo (80%), para el cual, la altura de la lámina de agua que transita por el cauce es suficiente para permitir el paso de embarcaciones pequeñas, con calados que no superen un metro.

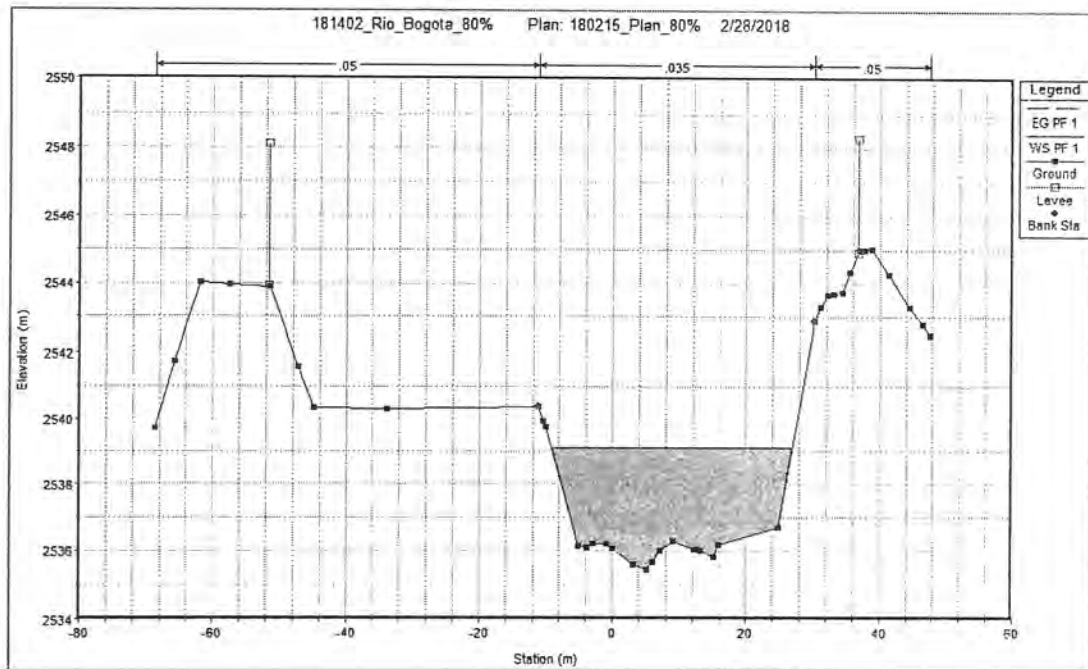


Figura 35. Nivel de la lámina de agua (Caudal mínimo). Abscisa K26+100
Fuente: Elaboración propia.

4.6 Comparación de los resultados obtenidos con el modelo de Monsalve

A partir de los resultados obtenidos de la modelación del río Bogotá, tal y como se describió anteriormente, a continuación, se presenta un análisis comparativo del modelo desarrollado por la CAR para el proyecto de adecuación hidráulica en el año 2008 y el modelo construido por la Consultoría para el presente contrato, con el fin de mostrar las diferencias encontradas entre los modelos.

Cabe resaltar que el modelo realizado por la presente Consultoría se construyó desde el inicio con las consideraciones ya mencionadas.

En las siguientes figuras se presentan los análisis realizados y la información gráfica de los resultados de cada uno de los modelos.

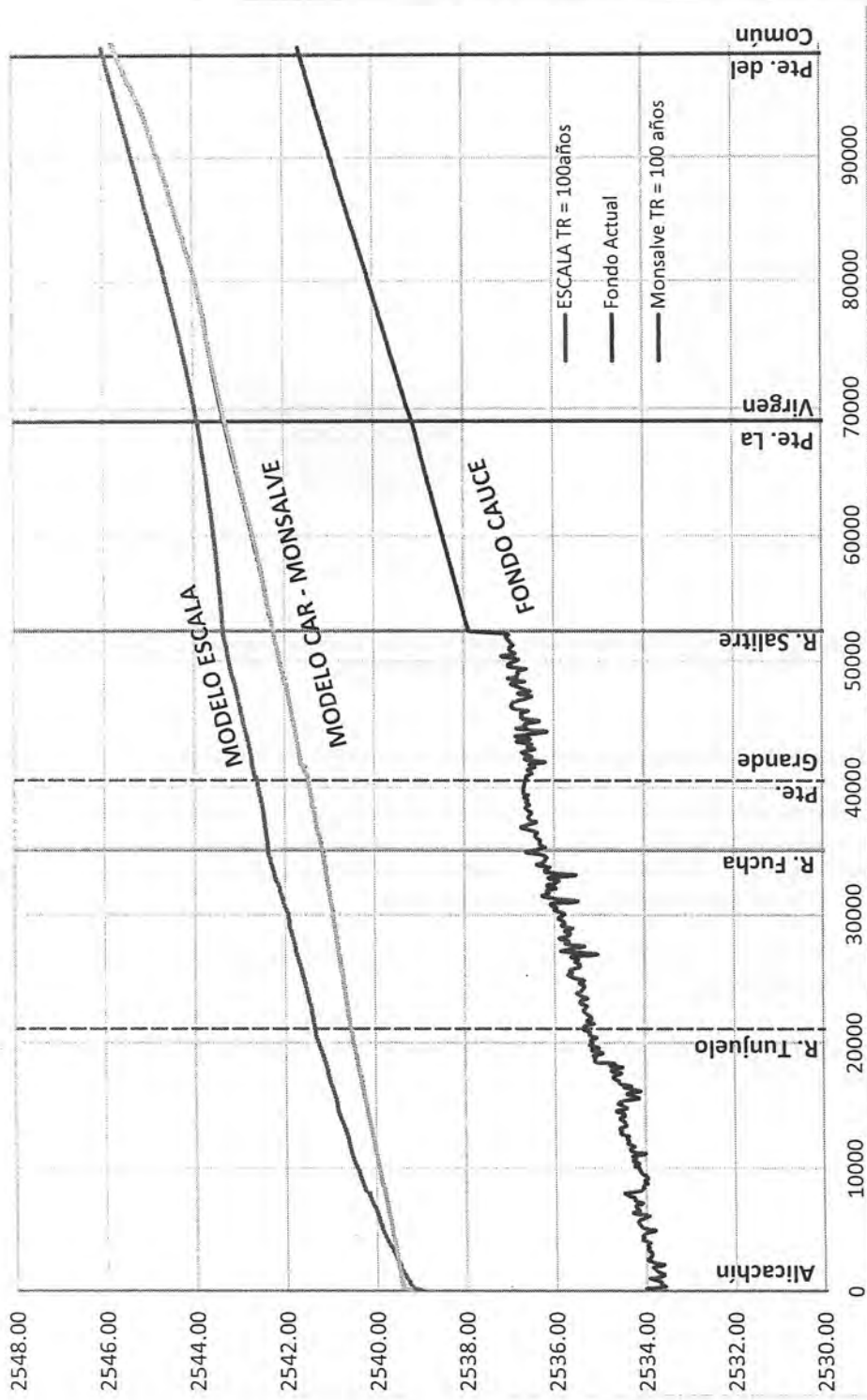


Figura 36. Comparación del modelo de Escala con el de la CAR - Monsalve.
Fuente: Elaboración propia.

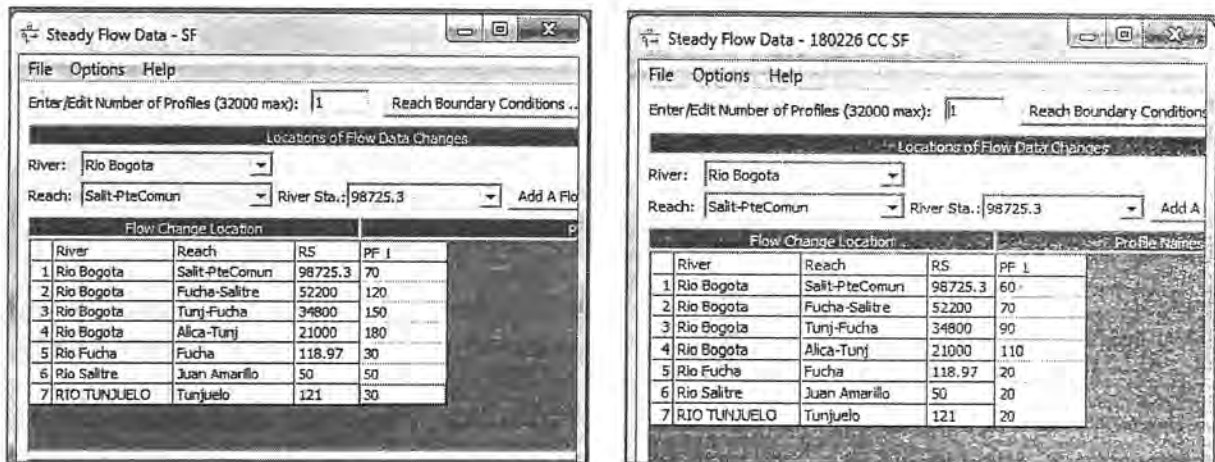


Figura 37. Datos de caudal para la modelación hidráulica para condiciones de flujo permanente, a) Modelo Escala Ingeniería, b) Modelo CAR.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la comparación realizada entre el modelo de la CAR (2008) y el modelo de Escala Ingeniería (2018), la Figura 36 muestra un nivel de la lámina de agua superior para el modelo actual (Escala 2018) con respecto al modelo de la CAR, esto se debe a la diferencia en los análisis con respecto al cálculo del caudal. En la Tabla 12 se puede evidenciar una diferencia significativa en la magnitud de los caudales en cada uno de los sectores que recorre el Río Bogotá.

Sector	Caudal (m ³ /s)		
	CAR - Monsalve	Escala	Diferencia
Alicachin - Tunjuelo	110	180	70
Tunjuelo - Fucha	90	150	60
Fucha - Salitre	70	120	50

Tabla 12. Diferencias encontradas entre el modelo de la Car y el de Escala.

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de identificar que las diferencias en los resultados del modelo correspondieran únicamente a las diferencias de los caudales ya mencionadas, se adelantó el ejercicio de modelar los caudales utilizados por la CAR en la geometría del modelo realizado por esta Consultoría; el perfil hidráulico resultante de este ejercicio respondió en gran medida al perfil reportado por la CAR, sugiriendo que, con excepción del caudal, el resto de las consideraciones tenidas en cuenta durante el desarrollo del presente modelo son válidas.

4.7 Concepto sobre el riesgo de inundación

De acuerdo con los resultados de la modelación hidráulica, para las condiciones de diseño de las obras de adecuación hidráulica del proyecto AHRARB de la CAR (Tr = 100 años) y para los caudales de excedencia del 80% del tiempo, no se evidencia riesgo por amenaza de inundación a lo largo del río Bogotá, dado que los caudales modelados se encuentran contenidos dentro de la sección del cauce sin sobrepasar el nivel de la corona de los jarillones localizados en cada una de las márgenes del río.

La anterior apreciación es coherente con el Concepto Técnico de Amenaza 8174 emitido por el IDIGER para la ciudad de Bogotá, en el cual se determina que las obras adelantadas por la CAR han mitigado la amenaza de inundación por desbordamiento del río.

Si bien a lo largo del río no se evidencia desbordamiento, la modelación indica que para la tormenta de diseño son los jarillones quienes deben soportar el evento, y en caso de falla, las inundaciones por desbordamiento del río podrían ser inminentes en algunos sectores de la ciudad.

Así las cosas, para el proyecto de navegabilidad será necesario revisar con mayor profundidad las condiciones de las obras de contención construidas a lo largo del río y las evaluar la ejecución de actividades que permita el refuerzo de las mismas en sectores críticos, de acuerdo con la alternativa de sección transversal seleccionada para el cauce en el marco del presente estudio.