



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

DIAGNÓSTICO DE LAS ADECUACIONES HIDRÁULICAS EN EL RÍO BOGOTÁ
DESDE LAS COMPUERTAS DE ALICACHÍN HASTA LA DESEMBOCADURA
DEL RÍO TUNJUELO

DANIEL EDUARDO REINO AVILEZ

KATHERINE ÁVILA JAIME

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D. C.

2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

DIAGNÓSTICO DE LAS ADECUACIONES HIDRÁULICAS EN EL RÍO BOGOTÁ
DESDE LAS COMPUERTAS DE ALICACHÍN HASTA LA DESEMBOCADURA
DEL RÍO TUNJUELO

DANIEL EDUARDO REINO AVILEZ

KATHERINE ÁVILA JAIME

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil

Director:

JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO
Ingeniero Civil, Magister en Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D. C.

2017



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.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 17, mayo, 2017

DEDICATORIA

A Dios.

Por habernos permitido llegar hasta este punto y darnos salud para lograr cada uno de nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres.

Por ser el pilar fundamental en nuestras vidas, en toda nuestra educación tanto académica como de la vida, gracias por su incondicional apoyo para lograr este sueño, por motivarnos a seguir adelante ante las adversidades del camino.

Gracias infinitas con todo el cariño y amor que representan para nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos este proyecto de grado, a todas aquellas personas quienes hicieron parte fundamental para su culminación.

Así mismo, al ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero, quien nos brindó su acompañamiento y experiencia en cada proceso de nuestro trabajo.

Finalmente, a las oficinas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca por proporcionarnos la información requerida para llevar a cabo las distintas actividades desarrolladas en el presente trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1 GENERALIDADES	14
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.5 DELIMITACIÓN	19
1.6 MARCO REFERENCIAL	20
1.7 ESTADO DEL ARTE.....	35
1.8 METODOLOGÍA	37
1.9 DISEÑO METODOLÓGICO	38
2 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	39
2.1 NIVELES DE DISEÑO DE LAS ADECUACIONES HIDRÁULICAS EJECUTADAS.....	39
2.2 ESTUDIO DE SEDIMENTOS DE FONDO Y SUSPENDIDOS.....	44
2.3 DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS ADECUACIONES QUE CONFORMAN EL SISTEMA.....	61
3 CONCLUSIONES.....	78
4 RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco Legal	31
Tabla 2. Resultados cumplimiento en niveles de diseño	39
Tabla 3. Resultados ArcGIS.....	48
Tabla 4. Resultados AutoCAD	50
Tabla 5. Reporte de datos SST.....	56
Tabla 6. Reporte de caudales medios	57
Tabla 7. Resumen de cálculos.....	59
Tabla 8. Resumen de cálculos promedio general por mes	59
Tabla 9. Resultados valores máximos caudales	61
Tabla 10. Resultados periodos de retorno	65
Tabla 11. Resultados diagnóstico HEC-RAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de riesgo por inundación para condiciones actuales de protección	17
Figura 2. Localización del tramo de estudio.....	19
Figura 3. Batimetría por GPS.....	23
Figura 4. Batimetría por estación total	24
Figura 5. Mapas creados por ArcGIS.....	24
Figura 6. Flujograma trabajo de investigación	38
Figura 7. Resultado comparación sección 16+200	43
Figura 8. Extracción sedimentos de fondo.....	44
Figura 9. Modelo ArcGIS	46
Figura 10. Resultados 3 Parameter Log Normal.....	62
Figura 11. Proyección de probabilidades Weibull	63
Figura 12. Resultados Gumbel	64
Figura 13. Proyección de probabilidades Weibull	65
Figura 14. Modelación hidráulica HEC-RAS	66
Figura 15. Ejemplo convenciones en resultados.....	67
Figura 16. Resultado sección 0+600	72
Figura 17. Resultado sección 3+400	73
Figura 18. Resultado sección 9+000	73
Figura 19. Resultado sección 12+400.....	74
Figura 20. Resultado sección 13+000.....	74
Figura 21. Resultado sección 14+000.....	75
Figura 22. Resultado sección 16+000.....	75
Figura 23. Resultado sección 18+400.....	76
Figura 24. Resultado sección 19+400.....	76
Figura 25. Resultado sección 20+000.....	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Secciones transversales diseño vs final.....	86
ANEXO B. Secciones transversales inicial vs final	87
ANEXO C. Mediciones parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Bogotá....	88
ANEXO D. Reporte de mediciones de caudales.....	89
ANEXO E. Resultados secciones transversales HEC-RAS.....	90
ANEXO F. Resultados análisis hidráulico HEC-RAS.....	91

GLOSARIO

ADECUACIÓN HIDRÁULICA: es la ampliación del cauce del río para mejorar su capacidad de transporte hidráulico (Transportar más agua ampliando su cauce y así evitar inundaciones).

BATIMETRÍA: Es el estudio de las profundidades marinas, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos, arrojando un mapa o carta batimétrica donde normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como isogramas y puede también dar información adicional de navegación en superficie.

DESBORDAMIENTO: Fenómeno que ocurre cuando se excede la capacidad de los canales para conducir el agua y por lo tanto desbordan las márgenes del río, causando severos problemas sociales, ambientales y económicos.

DIAGNÓSTICO: son el o los resultados que se arrojan luego de un estudio, evaluación o análisis sobre determinado ámbito u objeto. El diagnóstico tiene como propósito reflejar la situación de un cuerpo, estado o sistema para que luego se proceda a realizar una acción o tratamiento que ya se preveía realizar o que a partir de los resultados del diagnóstico se decide llevar a cabo.

DRAGADO: limpieza de fondos como consecuencia de la acumulación de residuos y cienos.

ESPOLÓN: Es un malecón que suele hacerse a las orillas de los ríos o del mar para contener las aguas y también al borde de los barrancos y precipicios para seguridad del terreno y de los transeúntes.

ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN: es una construcción cuyo fin es contener los empujes de tierras y/o líquidos que pueden afectar a una determinada obra.

INUNDACIONES: son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

MITIGACIÓN: Es el conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieron tener algunas intervenciones antrópicas. Estas medidas deben estar consolidadas en un Plan de mitigación, el que debe formar parte del estudio de impacto ambiental.

MODELACIÓN: Es una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. Por medio de la modelación se busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema.

NIVEL DEL RIO: el nivel o altura del agua es la altura de la superficie del agua de una corriente, lago u otra masa de agua con relación a una determinada referencia.

SEDIMENTOS: los sedimentos son arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua. Pueden provenir de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales.

SIMULACIÓN: Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema.

SOCAVACIÓN: Excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica. Puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos de agua, especialmente allí donde se encuentra algún obstáculo la corriente, y al roce de las márgenes de las corrientes que han sido desviadas por los lechos sinuosos.

INTRODUCCIÓN

El Río Bogotá se ubica en el altiplano cundiboyacense, de noreste a sureste del departamento de Cundinamarca. Nace en el nororiente del municipio de Villapinzón a 3.300 metros sobre el nivel del mar (msnm) y su desembocadura es en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot a 280 msnm, según la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) son aproximadamente unas 589.143 hectáreas de área de influencia.

A través de los años, en época de lluvias intensas el río Bogotá ha provocado emergencias en diversas zonas aledañas al río por la ocurrencia de inundaciones de considerable magnitud e interferencia de los drenajes, que son causa de graves perjuicios para la comunidad, la agricultura, las comunicaciones y para el desarrollo de las zonas urbanas.

Actualmente, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) ha presentado y adelantado el proyecto denominado “Adecuación hidráulica y recuperación ambiental del Río Bogotá”, cuyo objetivo del proyecto es “...transformar el río Bogotá, mediante la mejora de la calidad del agua, la reducción de los riesgos por inundación y la generación y recuperación de áreas multifuncionales a lo largo del río, recuperando este recurso hídrico como un activo para la región y para la ciudad de Bogotá”¹

De esta manera, el presente trabajo está enfocado en la elaboración de un diagnóstico de las adecuaciones hidráulicas cuyo objetivo son la mitigación del riesgo de inundaciones provocadas por las crecientes del río Bogotá.

Es así, que este trabajo abordará tres partes fundamentales:

- ✓ Identificar el cumplimiento en los niveles de diseño de las adecuaciones hidráulicas ejecutadas.
- ✓ Realizar el estudio de sedimentos (fondo y suspendidos) del tramo de estudio.
- ✓ Ejecutar el diagnóstico hidráulico de las adecuaciones que conforman el sistema a lo largo del tramo de estudio.

¹ CEPAL. Revista Digital: Río Bogotá, adecuación hidráulica y recuperación ambiental, Volumen II [en línea]. Colombia: CEPAL. [Citado 16 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/2a_car_sf2010v1_e22180v10box3414790spanish.pdf >

1 GENERALIDADES

De acuerdo al objetivo enfocado en la elaboración del diagnóstico de las adecuaciones hidráulicas en un tramo de estudio en particular y cuya finalidad es la mitigación del riesgo de inundaciones provocadas por las crecientes del río Bogotá, se abordará desde este punto la evaluación previa de información con el fin de adquirir la comprensión acerca de los temas fundamentales a bordar con el resultado y análisis del tema propuesto.

1.1 ANTECEDENTES

“En la trayectoria del río Bogotá pueden distinguirse tres fases: La Cuenca Alta del río al norte de Bogotá, con una longitud de 165 km. La Cuenca Media con unos 90 km. y la Cuenca Baja que es la que recibe directamente las aguas residuales de Bogotá y de la parte sur, hasta su desembocadura en el río Magdalena, con una longitud de 120 Km”².

De esta manera, las características que posee la ronda del río Bogotá hacen evidenciar que a raíz de una topografía plana, las bajas pendientes presentadas por el río, por sus afluentes de la margen derecha y por los recorridos finales de los afluentes de la margen izquierda, ha hecho que en época de lluvias intensas se caractericen la ocurrencia de inundaciones de considerable magnitud e interferencia de los drenajes, que son causa de graves perjuicios para la comunidad, la agricultura, las comunicaciones y para el desarrollo de las zonas urbanas.

Es así que “En 1921 se iniciaron los estudios de control de inundaciones ocasionadas por el río Bogotá, debido a su constante desbordamiento. La primera obra que se desarrolló fue el Sistema de La Ramada, en 1926, complementado posteriormente con dos estaciones de bombeo. El sistema fue concebido para permitir el riego de 1000 Ha y para evitar las inundaciones. Antes de 1950 se presentaban inundaciones frecuentes en la Sabana de Bogotá, las cuales anegaban grandes extensiones de tierras cultivables y zonas urbanas de las poblaciones de Fontibón, Funza, Mosquera y del norte del puente del común. En 1951 se construyó el embalse del Neusa y en 1952 el embalse del Sisga, obras desarrolladas para la regulación de las cuencas aferentes al río Bogotá.

²SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. Lineamientos generales para la gestión del riesgo en municipios estratégicos de la región [en línea]. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. [Citado 16 octubre, 2016]. Disponible en internet: < URL: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/SeguimientoPolíticas/políticaRuralidad/MetasPIanDesarrollo/Lineamientos_gestion_de_riesgo_region_entregable3_V06-04.pdf >

Posteriormente, en 1962 entró en operación el embalse Tominé mediante el que se controló la zona alta de la cuenca”³.

A raíz de dichos estudios, la Car identificó en 1979 “...la necesidad de establecer estructuras de protección frente a las inundaciones de la frontera occidental de la ciudad. Tras la inundación ocurrida en el sector de Patio Bonito en la zona sur occidental de Bogotá en 1980, la CAR construyó estructuras (jarillones) para la contención de inundaciones entre el sector de Alicachín y Juan Amarillo”⁴.

Sin embargo, “...en 1999 la DPAE al evaluar la capacidad de control de inundación ofrecida por los jarillones existentes concluyó que la protección es baja si se tienen en cuenta las proyecciones de desarrollo urbano sobre la zona. En el año 2007, la CAR, dada su competencia en el control de las inundaciones inició la formulación del proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá”⁵.

Por otro lado, el río Bogotá se constituye como un factor de amenaza por inundación en la cuenca media debido a que las estructuras de contención existentes (jarillones), tienen múltiples puntos de desbordamiento frente a caudales no permanentes para períodos de retorno superiores a 10 años. Adicionalmente, los jarillones y la sección hidráulica son vulnerables a la inestabilidad dada la presión ejercida por la columna de agua para caudales de 10 años y que se potencia con factores como filtración o licuación de lentes de arena.

En efecto, “El área vulnerable a la inundación en la cuenca media del río equivale a 8.920 Ha, localizadas principalmente en las UPZ Tintal Sur, El Porvenir, Engátiva, Tibabuyes y Zona Norte en el Distrito Capital y a las veredas Pueblo viejo, el Rozo, Parcelas, Siberia en el municipio de Cota, la vereda La Florida en el municipio de Funza, las veredas San Francisco y San José en el municipio de Mosquera y las veredas Bosatama y Canoas en el municipio de Soacha”⁶.

Con el objetivo de mitigar incidentes en las áreas vulnerables, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, en cumplimiento de su misión y visión y de acuerdo con los compromisos suscritos en el Convenio 171 de 2007, suscrito con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB y SDA, asumió un crédito de 250 millones de dólares para la ejecución del proyecto Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá – AHRARB, el cual se enmarca en la Estrategia para el manejo ambiental del río Bogotá propuesta por el Consejo Nacional de Política Económica y Social -CONPES en su documento 3320 y en los

³ CEPAL. Revista Digital: Río Bogotá, adecuación hidráulica y recuperación ambiental, Volumen II [en línea]. Colombia: CEPAL. [Citado 16 octubre, 2016]. Disponible en internet: < URL: http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/2a_car_sf2010v1_e22180v10box3414790spanish.pdf >

⁴ Ibid., p.33

⁵ Ibid., p.33

⁶ Aproximación realizada con base en la cartografía disponible en el POMCA río Bogotá.

compromisos concertados entre la CAR y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, para la recuperación del Río Bogotá y la prevención de inundaciones en Bogotá.

De ahí que para la ejecución de la Adecuación Hidráulica la CAR ha propuesto el Proyecto cuyo objeto principal es el diseño y construcción de las obras requeridas para el control de inundaciones debidas al río Bogotá para una condición de niveles con un período de retorno de 100 años, en el tramo comprendido entre puente la Virgen y Alicachín. Los diseños de dichas obras contemplan la ejecución de un proyecto con múltiples objetivos y cuya ejecución deberá ser realizada teniendo como base la tendencia actual de darle a los ríos un manejo multi-propósito: buscando un balance entre los usos beneficiosos para generación de energía, suministro de agua y agricultura, con la protección y potenciación del hábitat ribereño, de la calidad del agua y, de los usos recreativos, ambientales, paisajísticos bióticos y estéticos.

Mediante la Licitación Pública Internacional LPI No: BM LPI 01 2011, La CAR invitó a participar a todos los interesados en el contrato cuyo Objeto es “ADECUACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO BOGOTÁ TRAMO 1 SECTOR ALICACHÍN K 0 + 000 A K 40 + 000, de cuyo concurso resultó favorecido el oferente FCC CONSTRUCCION S.A SUCURSAL COLOMBIA, razón por la cual les fue adjudicado el contrato No. 0000803 de 2012.

De esta manera, el contrato de Obra se suscribe el día 10 de diciembre de 2012 con fecha de inicio de obras el día 1 de febrero de 2013 y el contrato de Interventoría se suscribe el día 2 de noviembre de 2012 al cual se le da inicio el día 28 de diciembre de 2012.

Las actividades de adecuación hidráulica comprendidas entre el KM00+300 con coordenadas (según Magna Colombia) X= 979383,749; Y= 994217,271 (Compuertas de Alicachín) al KM 21+074 con coordenadas X=983896,318; Y=1003696,572 (Desembocadura del río Tunjuelo) se dan por terminado en el mes de abril del año 2015.

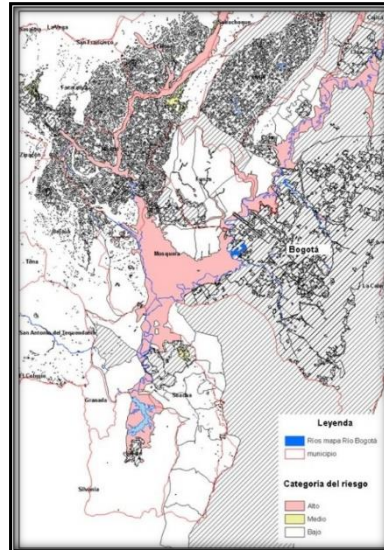
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Planteamiento del problema

Cada año las inundaciones provocan mayores desastres dado que el hombre va deteriorando paulatinamente las cuencas y cauces de los ríos, depositando en ellos grandes volúmenes de basura, así mismo tapona los drenajes naturales limitando los depósitos de agua como los humedales, aumenta la erosión con talas y además construye viviendas en lugares proclives a inundarse.

De esta manera, el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) expone que, como consecuencia de estas acciones, se disminuye la capacidad de la tierra de absorber el agua y reduce el tiempo necesario para que el agua lluvia llegue a ríos y quebradas, lo que genera aumentos súbitos de caudal y las inundaciones.

Figura 1. Mapa de riesgo por inundación para condiciones actuales de protección



Fuente: POMCA 2006

La CAR (Corporación Autónoma Regional) plantea que el riesgo por inundación en la cuenca media del río Bogotá es el producto de la amenaza actual por desbordamiento del río o de sus afluentes, y por la insuficiencia del sistema de alcantarillado o bombeo y la vulnerabilidad de los asentamientos urbanos presentes en las áreas adyacentes a los cuerpos hídricos. A pesar que el río tiene riesgo por desbordamiento hacia los municipios de la cuenca media y la ciudad de Bogotá, es en ésta última donde se presenta una alta densidad de asentamientos urbanos.

Es así que, las características que posee la ronda del río Bogotá como una topografía plana, las bajas pendientes presentadas por el río, por sus afluentes de la margen derecha y por los recorridos finales de los afluentes de la margen izquierda, ha propiciado que en época de lluvias intensas se caracterice la ocurrencia de inundaciones de considerable magnitud.

No obstante, se ejecutaron obras para el control de inundaciones debido a las crecientes del río Bogotá a través del proyecto de adecuación hidráulica de la CAR desde el año 2013, sin embargo, una vez ejecutado el proyecto en el tramo de estudio se ha presentado que en época de intensas lluvias en zonas aledañas a la

ronda del río en el sector de Soacha se generen anomalías por anegaciones que comprometen las mejoras en las condiciones ambientales y por ende sociales de las zonas intervenidas.

1.2.2 Formulación del problema

¿Las adecuaciones hidráulicas para el control de inundaciones desarrolladas en el Río Bogotá desde las compuertas de Alicachín hasta la desembocadura del río Tunjuelo son las adecuadas para soportar los niveles del río en un periodo de retorno de 100 años?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- ✓ Realizar el diagnóstico de las adecuaciones hidráulicas en el río Bogotá desde las compuertas de Alicachín hasta la desembocadura del río Tunjuelo, mediante modelaciones y análisis, que permita determinar su idoneidad para la mitigación del riesgo de inundaciones.

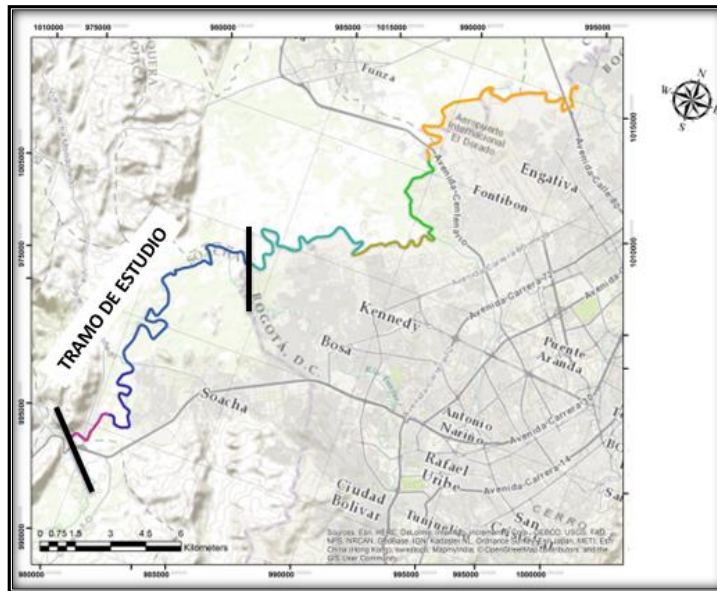
1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar el cumplimiento en los niveles de diseño de las adecuaciones hidráulicas ejecutadas.
- ✓ Elaborar el estudio de sedimentos de fondo y suspendidos.
- ✓ Realizar el diagnóstico hidráulico de las adecuaciones que conforman el sistema a lo largo del tramo de estudio.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Es necesario realizar un diagnóstico de las adecuaciones hidráulicas realizadas en el tramo de estudio con el propósito de evaluar su impacto sobre el río, sobre la sociedad y el medio ambiente, obteniendo una cuantificación de los sedimentos de fondo removidos, así como un análisis de los que se encuentran en suspensión y las obras hidráulicas ejecutadas que se configuran como beneficiosas para las zonas aledañas a la ronda del río.

Figura 2. Localización del tramo de estudio



Fuente: Informe técnico mensual No. 44 Consorcio Etsa Ayesa Geocing-Río Bogotá

De esta manera, la presente investigación busca evaluar la capacidad hidrológica e hidráulica de las obras desarrolladas en el tramo de estudio del río Bogotá puesto que ellas son el objeto desarrollado para el control de inundaciones en consecuencia a crecientes del río para una condición de niveles con un período de retorno de 100 años.

Así mismo, al determinar la cantidad de sedimentos de fondo removidos en el tramo del río se podrá conocer la capacidad actual del vaso del río y por tanto su capacidad de transporte de agua.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Alcances

El presente trabajo se realizará en el espacio de tiempo contemplado para el semestre académico 2017-I, es decir, un espacio de 4 meses.

Ahora bien, la presente investigación se desarrollará para el tramo comprendido entre las compuertas de Alicachín ubicado en el municipio de Soacha (Cundinamarca) hasta la desembocadura del río Tunjuelo (Bosa), por tanto, que el tramo de estudio se trabajará en contraflujo, es decir, hacia aguas arriba.

De esta manera, para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se hará uso de sistemas de modelación geográfica con indicadores hidráulicos, asesoramiento y orientación del docente tutor, que permitan obtener un óptimo resultado en presente trabajo de investigación.

1.5.2 Limitaciones

- ✓ Restricción de la información por parte de las entidades oficiales encargadas del plan de adecuación del río (CAR y FIAB)
- ✓ Banco de datos incompletos y/o no actualizados

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco Teórico

Estrategias para el control de inundaciones

Se pueden establecer dos formas de controlar las inundaciones provocadas por los ríos, "...una de ellas es la gestión de cuencas que consiste en realizar cambios que afecten directamente la forma en que transcurre el agua, ya sea por medio de presas, gestionando aspectos importantes que ya estén en el terreno como la vegetación, o realizando el dragado del canal del río. La otra forma de controlar las inundaciones es construyendo estructuras que funcionan como barreras al momento de crecientes como los jarillones"⁷.

Aunque se dividen en dos grupos en general se tienen cuatro formas de controlar las inundaciones, que son: gestión de cuencas, canales de alivio, dragado, estructuras de contención.

a) Dragado

El dragado se puede considerar como "...la excavación, carga y transporte de materiales sólidos que constituyen o se depositan en los fondos marinos, fluviales o en áreas cubiertas por las aguas. Al ser una actividad subacuática es necesario el uso de maquinaria especial que recibe el nombre de draga o tren."⁸

⁷ ESTEVES, José & RODRÍGUES, Paula. Diseño geotécnico de jarillones [en línea]. [Citado 12 octubre, 2016]. Bogotá: Universidad Javeriana, 2013.

⁸ Ibid., p.10

Las obras de dragado pueden clasificarse en tres grupos⁹:

-Según su finalidad:

- ✓ Dragados de primer establecimiento son aquellos que se realizan inicialmente para la construcción o adecuación de un cuerpo de agua, por ejemplo, la construcción de un puerto o la adecuación de un río o canal para su navegación.
- ✓ Dragados de mejora que son usados para aumentar los niveles iniciales de un dragado de establecimiento.
- ✓ Dragados de conservación o mantenimiento, se hacen sobre un dragado inicial el cual ha sufrido depósitos de sedimentos debido al flujo natural del cuerpo de agua.

-Según su metodología:

- ✓ Dragado de acción mecánica, se hace por contacto directo entre el medio excavador y el medio a excavar. Dragado por succión, se clasifica en succión hidráulica o neumática las cuales consisten en extraer el material por medio de bombas o compresores de aire, cuando se presentan materiales con altas densidades se suele usar una cortadora en la draga que realiza un primer proceso para facilitar la succión.

-Según su ubicación:

- ✓ Dragado en mar abierto.
- ✓ Dragado en dársenas (puertos en aguas navegables).
- ✓ Dragado en ríos y canales.
- ✓ Dragado en barras.

b) Estructuras de contención

✓ Paredes de concreto

Las paredes de hormigón, son paredes hechas en concreto que actúan bajo su propio peso.

✓ Jarillones¹⁰

Este término, también usado como dique, se define como un muro de retención, cuyo propósito principal es proporcionar protección contra las inundaciones y por tanto a niveles estacionales altos, por tanto, está sujeta a una carga de agua durante períodos de sólo unos pocos días o semanas al año.

⁹ Ibid., p.: 10-16

¹⁰ Ibid., p.: 29-34

Los diques que están sujetos a una carga de agua durante períodos prolongados (más de los requisitos normales de protección contra inundaciones) o permanentemente deben estar diseñados con otros criterios.

A pesar de que los diques son similares a las pequeñas represas de tierra, difieren en los siguientes aspectos:

- ✓ Un dique puede saturarse por sólo un corto período de tiempo más allá el límite de saturación capilar,
- ✓ La alineación del dique está dictada principalmente por las exigencias de protección de inundación, que a menudo se traduce en la construcción de cimentaciones pobres,
- ✓ Los materiales de construcción se obtienen generalmente de pozos de poca profundidad o de canales excavados adyacentes al dique, que producen material de relleno que puede ser muy heterogéneo y lejos de ser ideal. La selección de la sección de un dique a menudo se basa en las propiedades del material

Modelación hidrológica

La modelación hidrológica permite representar simplificada un sistema real bajo condiciones particulares con el objetivo de producir resultados que propicien la generación patrones siendo así que "...en la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias."¹¹

Pasos requeridos para la modelación de las secciones:

a) Batimetría

"Una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua."¹²

¹¹ IDEAM. Modelo hidrológico [en línea]. Colombia: IDEAM. [Citado 13 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica> >

¹² IDEAM. Batimetrías [en línea]. Colombia: IDEAM. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetrias> >

De esta manera se deben determinar las coordenadas X, Y y Z, donde el componente Z corresponde a la profundidad del cuerpo de agua levantado. Es así, que entre más sea el detalle de la batimetría, se podrá obtener un claro perfil de fondo y relieve del cuerpo de agua y todas aquellas anomalías que puedan existir.

“Las aplicaciones de los levantamientos batimétricos son muy amplias, permiten estimar los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua y conocer la dinámica de los lechos de ríos identificando zonas de socavación y áreas de depósito, que en ocasiones puede ocasionar la formación de islas en el río; también ofrece información para la navegación en grandes ríos. Particularmente los levantamientos batimétricos son insumo indispensable para aplicar cualquier software de modelación hidráulica lo cual permite evaluar el tránsito de crecientes con fines de pronóstico hidrológico”¹³.

Entre los métodos más utilizados de levantamientos batimétricos, encontramos:

- ✓ Métodos de posicionamiento planímetro
- ✓ Métodos de posicionamiento altimétrico
- ✓ Métodos de posicionamiento 3D (GPS, ecosondas)

Figura 3. Batimetría por GPS



Fuente: IDEAM 2014

¹³ Ibid., p.1.

Figura 4. Batimetría por estación total



Fuente: IDEAM 2014

b) Modelación con ArcGIS

ArcGIS es un software que permite “...recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.”¹⁴

Así mismo, este software “...permite crear una amplia variedad de mapas, entre ellos, mapas Web accesibles en navegadores y dispositivos móviles, diseños de mapa impresos de gran formato, mapas incluidos en informes y presentaciones, libros de mapa, atlas, mapas integrados en aplicaciones, etc.”¹⁵

Figura 5. Mapas creados por ArcGIS



Fuente: <http://resources.arcgis.com>

¹⁴ ArcGIS. Introducción al ArcGIS [en línea]. Colombia: ArcGIS. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> >

¹⁵ Ibid., p.1.

De esta manera, “Los mapas que se crean con ArcGIS muestran información y al mismo tiempo permiten utilizarla para la consulta, el análisis, la planificación y la administración...siendo así que con ArcGIS, los mapas se crean no sólo para mostrar datos, sino también como herramienta para buscar y comprender patrones y relaciones, realizar análisis y modelado a fin de resolver problemas específicos, visualizar y realizar un seguimiento del estado, permitir la entrada y la compilación de datos y dar a conocer ideas, planes y diseños.”¹⁶

1.6.2 Marco conceptual

Adecuación hidráulica: es la ampliación del cauce del río para mejorar su capacidad de transporte hidráulico (Transportar más agua ampliando su cauce y así evitar inundaciones) (CAR, 2016).

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo, 2016).

Diagnóstico: son el o los resultados que se arrojan luego de un estudio, evaluación o análisis sobre determinado ámbito u objeto. El diagnóstico tiene como propósito reflejar la situación de un cuerpo, estado o sistema para que luego se proceda a realizar una acción o tratamiento que ya se preveía realizar o que a partir de los resultados del diagnóstico se decide llevar a cabo (definición.mx.com)

Dragado: limpieza de fondos como consecuencia de la acumulación de residuos y cienos (BARBER, 2003).

Estructura de contención: es una construcción cuyo fin es contener los empujes de tierras y/o líquidos que pueden afectar a una determinada obra (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013).

Jarillón: cretón o parte de un filón que sobresale del suelo (Elpais.com, 2005).

Inundaciones: son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión

¹⁶ Ibid., p.1.

de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (*IDEAM, 2016*).

Mitigación del riesgo: Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente (*Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016*).

Nivel del río: el nivel o altura del agua es la altura de la superficie del agua de una corriente, lago u otra masa de agua con relación a una determinada referencia (*Organización Internacional de Normalización, 1988*).

Periodo de retorno (Tr): es el número de años que deben transcurrir para que un evento de una magnitud dada sea igualado o superado (*UNAD,2016*).

Sedimentos: los sedimentos son arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua. Pueden provenir de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales (*Universidad Tecnológica de Pereira, 2008*.)

Vulnerabilidad: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (*Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016*).

1.6.3 Marco histórico

“Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas o regiones que habitualmente se encuentran secas, normalmente es consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que puede drenar el propio cauce del río, aunque no siempre es este el motivo; las inundaciones se producen por diversas causas (o la combinación de éstas), pueden ser causas naturales como las lluvias, oleaje o deshielo o no naturales como la rotura de presas”¹⁷.

¹⁷ GAMA. Definición de Inundación [en línea]. Barcelona: GAMA. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.floodup.ub.edu/inundaciones/> >

De esta manera, con el tiempo se ha buscado evitar daños y desastres en propiedades y estructuras que afectan la población, diseñando obras de mitigación de los efectos de las inundaciones.

Por consiguiente, se ha tratado de aminorar estas acciones nocivas por medio de medidas estructurales, que... “comprende aquellas obras de ingeniería que se diseñan con el propósito de mitigar los grandes crecientes de los ríos en todas sus zonas susceptibles a inundaciones, ya sea almacenando, protegiendo sus márgenes, confinando, evacuando los excesos y adecuando sus vasos naturales (ciénagas)”¹⁸.

Remontándonos a la historia, las primeras inundaciones conocidas se presentaron en Egipto en el siglo IV a.C, donde debido a la creciente del Río Nilo se generaron desbordamientos, ocasionando daños y desastres. A causa de esta problemática y a las lluvias periódicas, se optó por la construcción de la presa de Asúan, en la década de 1970.

Después de muchos años y finalizando la guerra Civil (1936) en España se escuchaban propuestas de creación de empresas dedicadas al Dragado, cuya técnica consiste en “...la limpieza de rocas y sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río con el fin de aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas abajo”¹⁹.

Una de las técnicas más antiguas es la construcción de diques o también conocido como “jarillones”, este ha sido y será uno de los métodos más efectivo debido a sus múltiples funcionalidades, como el de servir de contención de aguas para abastecimiento o el de la prevención de inundaciones, por su facilidad en la construcción y economía en su momento de ejecución.

Es así que, “Estas estructuras pueden ser consideradas a manera de terraplenes o pedraplenes artificiales elaborados con materiales granulares simples, materiales mixtos de diversa índole con el uso de casi cualquier tipo de agregado o suelo”²⁰. Estos materiales son de fácil alcance, porque generalmente se obtienen en las áreas afluentes al río.

Otra de las obras hidráulicas que ha tenido gran influencia en los últimos años para la mejora de la estabilidad, y la mitigación de riesgos a causa de desbordamientos,

¹⁸ UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Medidas estructurales [en línea]. Cauca: Universidad del Cauca. [Citado 20 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/P_Proteccion%20contra%20Inundaciones.pdf >

¹⁹ WIKIPEDIA. Definición de Dragados [en línea]. [Citado 16 octubre, 2016]. Disponible en: <URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Dragado> >

²⁰ VILLAMIL, Robinson. Jarillones: Materiales de construcción para jarillones. Montería: Universidad del Sinú, 2013.

se conoce como Bolsacretos, este corresponde a “formaletas flexibles de polipropileno que sirven para proteger, reparar o construir estructuras como espolones, rompeolas, diques, presas, taludes, pilares, sillares, muros y realces; además de mejorar la estabilidad de laderas erodadas.”²¹

Esta tecnología es una alternativa rápida y económica, comparando con otros sistemas, “...los bolsacretos no involucran equipos pesados, por consiguiente, el precio por metro cubico instalado es menor debido a la reducción en el transporte, mano de obra y tiempo de ejecución”²². Se puede conseguir la protección de grandes áreas en un corto periodo de tiempo, debido a la velocidad de construcción que permite esta tecnología.

Ahora, desde la perspectiva colombiana según la Secretaría Distrital de Ambiente la cuenca del río Bogotá ha contado con un recorrido histórico que da evidencia de las diversas actividades y estudios que se han ejecutado para determinar la viabilidad del Proyecto de Descontaminación y Recuperación de la Cuenca del Río Bogotá, buscando disminuir las problemáticas y los impactos ocasionados por la contaminación de las aguas del río.

Siendo así que, a continuación se relacionan los eventos más relevantes:²³

- En 1990 fue la creación del Comité Interinstitucional del río Bogotá
- 1991. Suscripción del documento “Estrategia de manejo del río Bogotá”
- 1991. Crédito BID – CAR para el “Programa de Saneamiento Ambiental de la Cuenca Alta del río Bogotá”
- 1993. EPAM Ltda., entrega el estudio en que se plantea el Programa de Descontaminación del río Bogotá en la cuenca media - PDRB
- 1993. Suscripción del contrato 015 con el consorcio Degremont y Lyonnaise de Eaux.
- 1996. MinAmbiente otorga la licencia ambiental al proyecto (Res. 817).
- 1997. Inicio de la construcción de la PTAR Salitre
- 1997. Firma convenio 250 entre el Distrito y la CAR
- 1999. Convocatoria de la Procuraduría a las Mesas de Trabajo sobre el RB
- 2000. Inicia la operación la PTAR Salitre

²¹ CONSTRUDDATA. Definición de Bolsacreto [en línea]. Colombia: Construdata. [Citado 25 octubre, 2016] Disponible en internet: <URL: <http://www.construdata.com/VitrinaComercial/Anuncian/0/86000505/Capitulos/06/6.htm> >

²² UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Precios de Bolsacretos [en línea]. Cauca: Universidad del Cauca. [Citado 17 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/PAVCO.pd> >

²³ CEPAL. Eventos relevantes de la cuenca del río Bogotá [en línea]. Colombia: CEPAL. [Citado 07 diciembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/dama_2004_descontaminacion_rio_bogota.pdf >

- 2001. Se inicia el proceso de la Mesa de Planificación Ciudad – Región Bogotá-Cundinamarca, a través del acuerdo de voluntades suscrito entre la CAR, la Gobernación y el D.C.
- De la Mesa surgen los proyectos prioritarios para la Región, los cuales se plasman en el Documento CONPES. Entre estos: El saneamiento integral y regional del río Bogotá, para el que se define la necesidad de expedir un documento CONPES especial, la formulación del plan de ordenamiento ambiental regional POTAR y. Acueductos y alcantarillados regionales.
- 2002 y 2003. Realización estudios técnicos, jurídicos y financieros en torno al PDRB y el Contrato 015 de 1994.
- 2003. La CAR y el DAPD firmaron el acta de concertación del proyecto de revisión del Plan de Ordenamiento de Bogotá. Entre los puntos concertados se encuentra el nuevo esquema de saneamiento del río Bogotá.
- Documento CONPES 3256 de 2003 - Programas de Inversión: Descontaminación, ordenamiento y manejo integral de la cuenca del río Bogotá.
- 2004. El Presidente de la República da instrucciones a la ministra del MAVYDT de propiciar un acuerdo entre las posiciones del D.C y la Gobernación (ampliación PTAR) y de la CAR (8 proyectos).

Adicional a esto, la ola invernal que azotó a la ciudad de Bogotá en los años 2010-2011, se debió principalmente a un fenómeno de variabilidad climática llamado "La niña", "Está marcada como anómala, debido a que, al compararla con una estación climática normal, las precipitaciones observadas fueron muy superiores a las observadas históricamente"²⁴. En el año 2010 se presentó una rápida transición entre los eventos El niño y La niña, lo que trajo severas oscilaciones climáticas, pasando de los niveles mínimos en la estación seca hasta los más altos registrados históricamente, en la época de lluvias.

Siendo así que, las zonas más afectadas fueron la sabana de Bogotá, el municipio de Mosquera, el municipio de Soacha y zonas aledañas de Bosa, los cuales sufrieron inundaciones, desbordamientos del río, debido a la ruptura del jarillón, dado a la cantidad de sedimentos de fondo y en suspensión que transporta el río Bogotá. Es a razón de esta problemática que el gobierno opta por una medida emergente conocida como "Diablo Rojo" proyecto que busca realizar trabajos de dragado, para aumentar la velocidad del río y por ende desaguar.

A parte del dragado, este plan emergente contaba con actividades como: monitoreo de jarillón, Control de inundaciones y reforzamiento de jarillón y se adicionó el contrato cuyo objeto fue la "Ejecución de obras de mantenimiento hidráulico en

²⁴ BEJARANO, Juan camilo. Revisión de los procesos de monitoreo y mitigación del factor riesgo, producidos desde la ola invernal de 2010-2011 en el río Bogotá y su área de influencia. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015.

sectores críticos por inundación en la jurisdicción de la CAR”, e Implemento Obras definitivas como “proyecto de Adecuación Hidráulica y recuperación del río Bogotá en una colaboración entre la secretaria de ambiente, la empresa de acueducto y la corporación, en lo que denominaron el megaproyecto río Bogotá”²⁵.

Los estudios e informes realizados se relacionan a continuación:²⁶

- “Informes de operación y mantenimiento de la PTAR Salitre”. Unión Temporal Hans Wolf & Partner GMBH e Hidrotec, 2001.
- “Evaluación Técnica de la PTAR Salitre”. Water Research Centr. Agosto, 2002.
- “Usos y Estándares de la Calidad del Río Bogotá”. Unión Temporal. Agosto, 2002.
- “Captación de las Aguas Residuales de la Cuenca Salitre”. Carlos Giraldo López. Julio, 2003.
- “Análisis de la Situación de la PTAR Salitre desde la Perspectiva Técnico Ambiental. Instituto Quinaxi - Carlos Giraldo López. Julio, 2003.
- “Programa de Saneamiento del Río Bogotá. Definición de la Alternativa a Seguir”. Unión Temporal Saneamiento del Río Bogotá. Agosto, 2003.
- “Informe de Alternativas frente al Contrato 015 de 1994”. Rodríguez Azuero Asociados S.A., 2003.
- “Análisis Financiero del Contrato 015 de 1994”. Taller de Estrategia, 2003.
- “Verificación de la hidráulica de la PTAR Salitre”. CIACUA Universidad de los Andes. Enero, 2004.

1.6.4 Marco legal

De acuerdo a la legislación colombiana existente y según la evaluación ambiental realizada por el FIAB, se concluyó que la normatividad aplicable...”Se enmarca en dos contextos normativos, el primero hacia la protección contra inundaciones por desbordamiento del río Bogotá y el segundo comprende el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente para proyectos de esta magnitud”.²⁷

²⁵ ELTIEMPO.COM. Lo que ordena el histórico fallo para salvar al río Bogotá [en línea]. Bogotá: El Tiempo (2014). [Citado 07 diciembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13747556>. >

²⁶ CEPAL. Estudios e informes para proyecto Rio Bogotá [en línea]. Colombia: CEPAL. [Citado 07 diciembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/dama_2004_descontaminacion_rio_bogota.pdf >

²⁷ WORLKBANK. Legislación colombiana sobre inundaciones [en línea]. Colombia: WORLKBANK. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/ATTOH2UG_.pdf >

A continuación, se presenta una síntesis de las leyes colombianas en materia de protección contra inundaciones por desbordamiento del Río Bogotá y el medio ambiente:

Tabla 1. Marco Legal

NORMA	TITULO	OBJETO	FUENTE
Ley 99 de 1993	Sistema Nacional Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="646 457 1198 968">1. La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento y que las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) les corresponde “ Promover y ejecutar obras de irrigación, avenamiento, defensa contra inundaciones, regulación de causes y corrientes de agua, y de recuperación de tierras que será necesarias para la defensa, protección y adecuado manejo de las cuencas hidrográficas del territorio de su jurisdicción, en coordinación con los organismos directos y ejecutores del Sistema Nacional de Adecuación de Tierras”²⁸ <li data-bbox="646 978 1198 1247">2. Determina que las Corporaciones Autónomas Regionales tienen la competencia de “Otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente. <li data-bbox="646 1257 1198 1486">3. Dispone que las Corporaciones Autónomas Regionales podrán delegar en las entidades territoriales el otorgamiento de las licencias, concesiones, permisos y autorizaciones que les corresponde expedir, salvo para la realización de obras o desarrollo de actividades por la misma entidad territorial. <li data-bbox="646 1497 1198 1755">4. Define que en los casos en que el Ministerio de Medio Ambiente sea competente para otorgar la licencia ambiental, los permisos, concesiones y autorizaciones relacionados con la obra o actividad para cuya ejecución se pide la licencia, serán otorgados por el Ministerio del Medio Ambiente, teniendo en cuenta la información técnica suministrada por la 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota

²⁸ CAR. Concepto DG N. 303. Competencias, prevención y atención de desastres [en línea]. Bogotá: CAR. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: www.car.gov.co >

Tabla 1. (Continuación). Marco legal

		CAR, las entidades territoriales correspondientes y demás entidades del Sistema Nacional del Ambiente.	
Resolución 2202 del 29 de Diciembre de 2006	Formularios únicos Nacionales de solicitud de tramites Ambientales, Formulario único Nacional de solicitud de permiso de emisiones atmosféricas fuentes fijas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establece los formularios únicos nacionales para la obtención de los permisos, concesiones y autorizaciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. 2. Establece que los formularios únicos nacionales son de carácter obligatorio. 3. Expresa la vigencia de una serie de Resoluciones del Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial. 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota
Resolución 627 de 2006	Por lo cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establece los horarios de aplicación de la norma en todo el territorio nacional. 2. Clasifica los tipos de emisión de ruido y los cálculos a tener en cuenta. 3. Presenta los estándares máximos de emisión de ruido 4. Explica las pruebas estática y dinámica para vehículos. 5. Presenta las competencias y las sanciones a los infractores. 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota
CFR Titulo 40 Parte 503 Sub parte B	Disposición de lodos de aguas residuales en terrenos o áreas de uso agrícola, forestal o de acceso público.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establece que los lodos de aguas residuales pueden disponerse en terrenos con uso agrícola forestal o en áreas de acceso público, siempre que el contenido de las sustancias reglamentadas no supere los límites máximos permitidos en cuanto a concentración máxima, concentración promedio y carga contaminante. 2. Clasifica los lodos de acuerdo con el contenido de patógenos, en clase A o lodos de calidad excepcional y en Clase B o lodos que requieren tratamiento para su uso. 3. Define sistemas de tratamiento para los lodos de Clase B y entre otros hacen mención a la estabilización con cal, la compostación, etc. 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota
Decreto 4741 de 2005	Determina los lineamientos para la gestión integral de residuos peligrosos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Define como residuos peligrosos aquellos materiales que poseen características de peligrosidad, los empaques, embalajes o demás elementos que hayan tenido contacto con estos. 2. Establece disposiciones para la clasificación de los residuos peligrosos de acuerdo a características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y contenido patógeno. 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota

Tabla 1. (Continuación). Marco legal

		<p>3. Señala que son residuos corrosivos aquellos materiales acuosos que tienen un $\text{pH} < 2$ o > 12; son residuos tóxicos aquellos que una vez realizada la prueba de toxicidad de lixiviados (TCLP) supere en uno o más los límites máximos permitidos: son residuos infecciosos aquellos que contienen agentes patógenos con suficiente virulencia para causar enfermedades.</p>	
Resolución 541 de 1994	Regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento, y disposición de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.	<p>1. Define como materiales “Escombros, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación”.</p> <p>2. Reglamenta que el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de materiales y elementos.</p> <p>3. Prohíbe el almacenamiento temporal o permanente de los materiales y elementos para la realización de obras públicas sobre zonas verdes, áreas arborizadas, reservas naturales o forestales y similares, áreas de recreación y parques, ríos, quebradas, canales, caños, humedales y en general cualquier cuerpo de agua.</p> <p>4. En cuanto a la disposición final de los materiales, dispone que la persona natural o jurídica pública o privada que genere materiales y elementos debe asegurar su disposición final de acuerdo a la legislación sobre la materia y que está prohibido mezclar los materiales y elementos con otro tipo de residuos líquidos o peligrosos y basuras, entre otros.</p> <p>5. Asimismo, establece que las escombreras municipales no aceptaran materiales o elementos que vengan mezclados con otro tipo de residuos como basuras, residuos líquidos, tóxicos o peligrosos.</p>	<p>http://www.orarbo.gov.co/es/docuementacion-y-enlaces/listado/ade cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota</p>
Resolución 1096 del 2000 Título E	Adopta el reglamento técnico para el sector de Saneamiento y Agua potable.	<p>1. Establece procedimientos para el tratamiento de lodos provenientes de sistemas de tratamientos de aguas residuales como: espesamiento, lechos de secado y digestión de lodos.</p> <p>2. Define los parámetros que deben ser caracterizados en los lodos previa y posteriormente al tratamiento.</p>	<p>http://www.orarbo.gov.co/es/docuementacion-y-enlaces/listado/ade cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota</p>
1713 del 2002	Establece los parámetros para la gestión integral de los residuos sólidos	<p>1. Dispone que los usuarios serán responsables de la presentación de los residuos sólidos hasta el sitio determinado por el prestador del servicio de aseo.</p>	<p>http://www.orarbo.gov.co/es/docuementacion-y-enlaces/listado/ade</p>

Tabla 1. (Continuación). Marco legal

			cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota
Decreto 1729 del 2002 POMCA Rio Bogotá	Desarrolla los aspectos normativos dispuestos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establece como objetivo del plan: “lograr el aprovechamiento sostenible, la conservación, restauración y protección adecuada de los recursos naturales, renovables del area de la cuenca del Rio Bogotá, a través de un proceso de planificación integral que considere los aspectos socio económicos, técnicos, institucionales y ambientales y con énfasis en los recursos hídricos. 2. De los objetivos específicos definidos, cabe resaltar: implementar en áreas críticas planes detallados y proyectos específicos tendientes a lograr el control y rehabilitación de áreas severamente degradadas. 3. El plan define 9 programas estratégicos de los cuales se relacionan con las actividades del proyecto y deben tenerse en cuenta durante la ejecución: programación estratégica de conservación y protección de los cuerpos de agua (entre este se incluye dragado y , limpieza de cauces, protección de cuencas en la red primaria y proyectos legales de reversión a la propiedad pública, saneamiento ambiental y manejo hídrico de humedales), programa estratégico de conservación, restauración y uso sostenible de ecosistemas estratégicos (incluye proyectos de restauración de ecosistemas, cambio del uso del suelo en zonas de aptitud ambiental, conservación de ecosistemas). 	http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/ade-cuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota
(Ley 812) de 2003	La Ley del Plan Nacional de Desarrollo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definió como una prioridad continuar con el programa de descontaminación del río Bogotá, dentro del proyecto de Manejo Integral del Agua. 	https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%33%B3micos/3320.pdf
Decreto 3100 de 2003 y Decreto 155 de 2004	MAVDT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales. 2. Se reglamenta el cobro de las tasas por utilización de aguas superficiales. 	http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto+3100+de+2003.pdf/c2223038-b4f3-4741-b655-2cca15c117f5

Tabla 1. (Continuación). Marco legal

CONPES 3177 de 2002	Marco institucional del Gobierno Nacional	1. Conjunto de acciones prioritarias y lineamientos para el manejo de aguas residuales	http://www.minvivienda.gov.co/conpes/agua/3177%20-%202002.pdf
---------------------	---	--	---

Fuente: Los autores

1.7 ESTADO DEL ARTE

La revisión de información secundaria permitió identificar varias propuestas conceptuales respecto a proyectos desarrollados en Colombia, buscando la mitigación de los efectos causados por inundaciones, con unas actividades específicas como son el dragado del río y la conformación del jarillón.

✓ Proyecto Saboyá/ Boyacá

En primera instancia se encontró, que debido a los desbordamientos constantes del Río Suarez y a los daños ocasionados a esta población, se opta por ejecutar un proyecto que tiene por objeto “Realizar el dragado, limpieza y conformación de jarillones con el fin de recuperar los terrenos productivos y aquellos que requieran de protección ante eventos futuros de fenómenos lluviosos en el municipio de Saboyá, departamento de Boyacá”²⁹. Este fue asignado en el año 2007 y dentro de las actividades más relevantes están la ejecución, dirección y control de la Obra para el dragado y limpieza; suministro de material para realzado y conformación de jarillón. Las cantidades propuestas en los pliegos corresponden a:

- Dragado y limpieza 1954,5 ML
- Suministro de material para realzado y conformación de jarillón, incluye explotación y transporte. 23571 M³

✓ Proyecto Río Tunjuelo/ Cundinamarca

Debido a las constantes inundaciones presentadas en los años anteriores en la ciudad de Bogotá a razón de las crecientes del Río Tunjuelo por... “fenómenos meteorológicos, invasión de la ronda del río para actividades industriales, urbanísticas y extractivas”³⁰, sumadas a la utilización del río como colector de aguas residuales domésticas e industriales. La Alcaldía Mayor de Bogotá en conjunto con la administración distrital determinan la urgencia de construir obras de control entre

²⁹ ALCALDÍA SABOYÁ. Pre-pliego de condiciones proyecto Saboya- Boyacá [en línea]. Saboyá: Alcaldía de Saboyá. [Citado 07 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://saboya-boyaca.gov.co/apc-aa-files/6c696369746163696f6e657373737373/pliegos_dragado_1.rtf >

³⁰ UNIVERSIDAD DISTRITAL FJC. Proyecto Río Tunjuelo [en línea]. Bogotá: UDFJC. [Citado 08 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut/article/view/4041/6076> >

las cuales definen el proyecto de “Construcción de la primera etapa de las obras para el control de crecientes en la cuenca del Río Tunjuelo realce de jarillones, dragados y obras de protección de orillas”³¹, con una duración de 13 meses.

Las actividades a ejecutar correspondientes a la protección de orillas, realce de jarillones y adecuación de taludes fueron de 152 ml y el material dragado 44161 m³.

✓ **Proyecto Riohacha y la quebrada La Perdiz, Florencia / Caquetá**

A raíz de la inundación del 8 y 9 de mayo del 2014, la oficina de Gestión presento un proyecto cuya finalidad contempla que, en su primera fase, el dragado de la quebrada y la construcción de jarillones hasta el puente peatonal del barrio Juan XXIII.

“La Unidad Nacional de Gestión del Riesgos apporto los recursos para continuar con la segunda fase de las obras de mitigación que se ejecutarán a orillas del río Hacha y la quebrada La Perdiz y cuyo proyecto se denomina Obras de protección hidráulica y recuperación de la orilla de la quebrada La Perdiz y el Río Hacha en el municipio de Florencia”³².

✓ **Proyecto Río Magdalena**

Debido a la necesidad de reducir los costos en el transporte y fleteo de los productos enviados por carretera y la búsqueda por recuperar la navegabilidad del Magdalena, fueron las razones principales que conllevaron a las entidades encargadas a encabezar un plan de emergencia que permitiera disminuir los residuos sólidos de los asentamientos en el río, por medio del dragado de rocas y sedimentos de las aguas poco profundas.

Este proyecto busca recuperar la que fue la principal ruta de transporte de Colombia hace un siglo. “El dragado busca permitir que los barcos de carga puedan navegar un afluente de 900 kilómetros y facilitar el transporte de carbón, acero y otros productos desde Puerto Salgar, cerca de Bogotá, la capital colombiana, hasta Barranquilla, en el Mar Caribe”³³.

³¹ EAAB. Proyecto Río Tunjuelo [en línea]. Bogotá: EAAB. [Citado 08 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://eacenn09.acueducto.com.co:8085/?sGet&DI9ZTH1WXw15A3N6P31yZ3t2bH55DnoTCV9UcUsObgEAFQQFXQF2CRp5HwdzfQAEWQVxARsHHAQWLlpYHXITBUtSW1EWPWNQH0NeV0EOHwAEeBNTBFxSVk5eSg0AfwEFXwYSCmpDS1ZtMDc4LzMvMDBNNTUM> >

³² ALCALDÍA DE FLORENCIA. Proyecto Florencia/Caquetá [en línea]. Florencia: Alcaldía de Florencia. [Citado 12 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.florencia-caqueta.gov.co/index.shtml?x=2348018> >

³³ PORTAFOLIO. Dragado Río Magdalena [en línea]. Colombia: Portafolio. [Citado 13 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/avanza-dragado-rio-magdalena-38742> >

Este se convierte en uno de los proyectos más completos y de más magnitud con respecto al retiro de sedimentos por medio del dragado, además se tiene contemplado abarcar obras civiles, monitoreo por satélite, administración del proyecto y compensación ambiental.

Las cantidades propuestas en los pliegos corresponden a:

- 168 obras de enrocado en 256 km de cauce entre Puerto Salgar y Barrancabermeja
- 4'053.000 metros cúbicos de dragado anual entre Puerto Salgar y Bocas de Ceniza

1.8 METODOLOGÍA

El proyecto se ejecutará bajo cinco etapas generales, a saber: preliminares, estudio de sedimentos (fondo y suspendidos), diagnóstico hidrológico e hidráulico adecuaciones, documento final y presentación de resultados.

En los preliminares se identificará la información de los diseños iniciales con el fin de determinar el cumplimiento en su ejecución con respecto a los niveles finales de los elementos de la adecuación hidráulica, siendo así que investigarán los documentos técnicos de la CAR y/o se solicitará a esta entidad la información necesaria que permita determinar dicho cumplimiento.

En el estudio de sedimentos se analizarán los datos de las batimetrías en el tramo de estudio, siendo así que esta información se llevará a modelación a través de un software, el cual permitirá obtener las cantidades de sedimentos removidos, así mismo se ejecutará el análisis de sedimentos en suspensión.

La etapa de diagnóstico permitirá realizar la verificación del cumplimiento hidráulico de las obras en el sistema, etapa crucial puesto que confirmará o por el contrario contradecirá la idoneidad de las estructuras para los niveles y caudales para un periodo de retorno de 100 años.

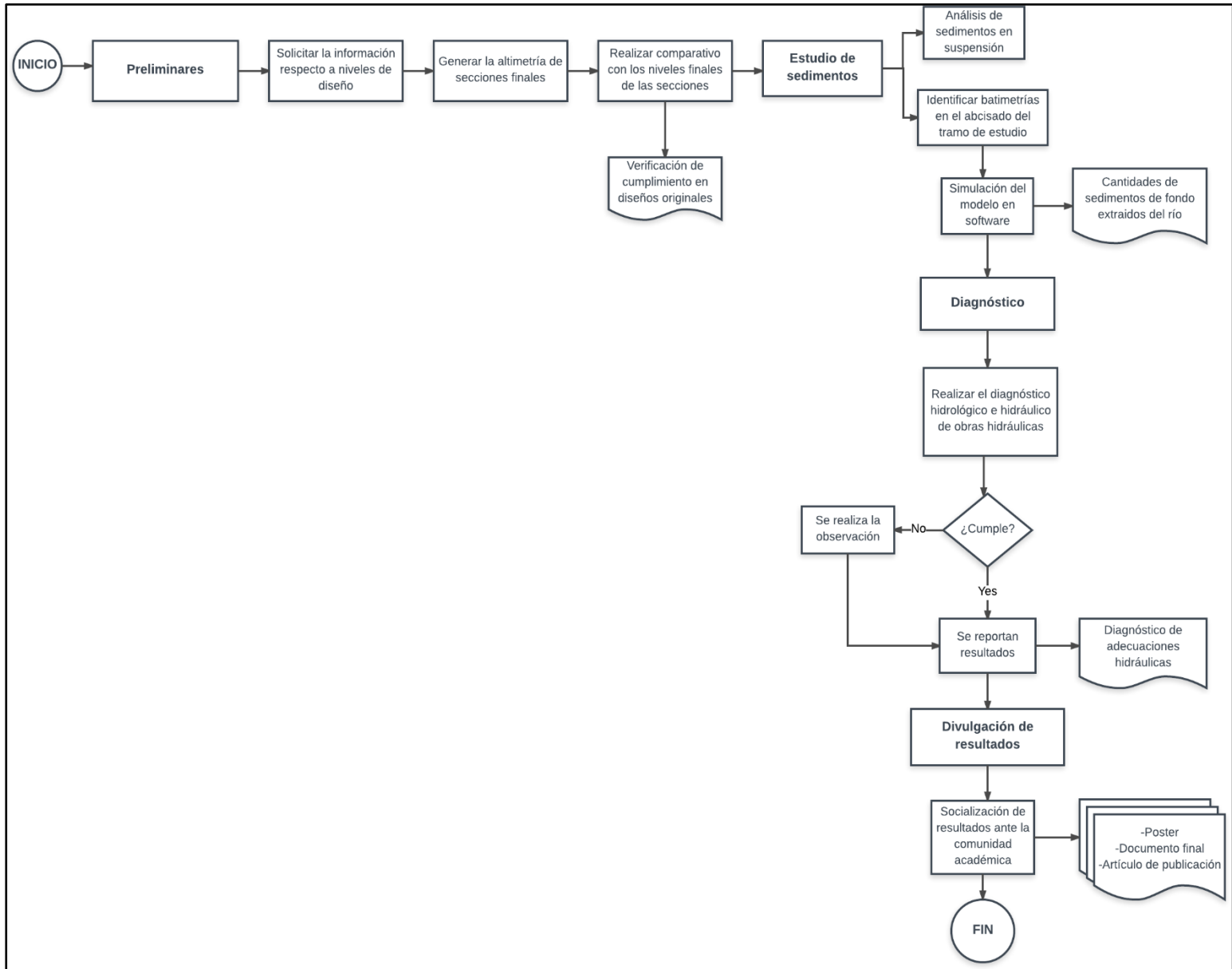
En la cuarta etapa se realizará un documento final, que reúna todos los estudios y procesos realizados en el presente trabajo de investigación.

Como última etapa, se realizará la divulgación de resultados a la comunidad académica a través de la presentación en exposición formal, un poster y un artículo académico sujeto a publicación en revista académica de acuerdo a la aprobación del consejo evaluador.

1.9 DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se muestra el proceso a realizar en el presente trabajo de investigación:

Figura 6. Flujograma trabajo de investigación



Fuente: Los autores

2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1 CUMPLIMIENTO NIVELES DE DISEÑO DE LAS ADECUACIONES HIDRÁULICAS EJECUTADAS.

Para determinar el cumplimiento en el diseño original del ente contratante, se solicitó a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca los planos originales de diseño, los cuales fueron suministrados en medio magnético en el programa AutoCAD.

De esta manera, se realizó la comparación entre el diseño original con el resultado final generado a través de CivilCAD 3D de acuerdo a la topografía y batimetría final, dónde se sobrepusieron manualmente las 105 secciones generadas para definir variaciones o no en cada una de ellas.

Una vez finalizado este proceso, se obtuvo como resultado la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados cumplimiento en niveles de diseño

SECCIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
0+200	Sin variaciones significativas	-
0+400	Sin variaciones significativas	-
0+600	Sin variaciones significativas	-
0+800	Con variaciones significativas	No se evidencia la conformación del jarillón proyectado en el diseño en la margen izquierda.
1+000	Sin variaciones significativas	-
1+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
1+400	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
1+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
1+800	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
2+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
2+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
2+400	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
2+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
2+800	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.

Tabla 2. (Continuación). Resultados cumplimiento en niveles de diseño

3+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
3+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
3+400	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
3+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
3+800	Sin variaciones significativas	-
4+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen izquierda.
4+200	Sin variaciones significativas	-
4+400	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
4+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
4+800	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
5+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
5+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
5+400	Sin variaciones significativas	-
5+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
5+800	Sin variaciones significativas	-
6+000	Sin variaciones significativas	-
6+200	Sin variaciones significativas	-
6+400	Sin variaciones significativas	-
6+600	Sin variaciones significativas	-
6+800	Sin variaciones significativas	-
7+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen izquierda.
7+200	Sin variaciones significativas	-
7+400	Sin variaciones significativas	-
7+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen izquierda.
7+800	Sin variaciones significativas	-
8+000	Sin variaciones significativas	-

Tabla 2. (Continuación). Resultados cumplimiento en niveles de diseño

8+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha.
8+400	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen izquierda.
8+600	Sin variaciones significativas	-
8+800	Posee variaciones	No se evidencia cumplimiento en el nivel proyectado del dragado.
9+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen izquierda.
9+200	Sin variaciones significativas	-
9+400	Sin variaciones significativas	-
9+600	Sin variaciones significativas	-
9+800	Sin variaciones significativas	-
10+000	Con variaciones significativas	No se evidencia la conformación del jarillón proyectado en el diseño en la margen derecha.
10+200	Sin variaciones significativas	-
10+400	Sin variaciones significativas	-
10+600	Sin variaciones significativas	-
10+800	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha
11+000	Sin variaciones significativas	-
11+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha
11+400	Sin variaciones significativas	-
11+600	Sin variaciones significativas	-
11+800	Sin variaciones significativas	-
12+000	Sin variaciones significativas	-
12+200	Sin variaciones significativas	-
12+400	Sin variaciones significativas	-
12+600	Sin variaciones significativas	-
12+800	Sin variaciones significativas	-
13+000	Sin variaciones significativas	-

Tabla 2. (Continuación). Resultados cumplimiento en niveles de diseño

13+200	Sin variaciones significativas	-
13+400	Sin variaciones significativas	-
13+600	Sin variaciones significativas	-
13+800	Sin variaciones significativas	-
14+000	Sin variaciones significativas	-
14+200	Sin variaciones significativas	-
14+400	Sin variaciones significativas	-
14+600	Sin variaciones significativas	-
14+800	Sin variaciones significativas	-
15+000	Sin variaciones significativas	-
15+200	Sin variaciones significativas	-
15+400	Sin variaciones significativas	-
15+600	Sin variaciones significativas	-
15+800	Sin variaciones significativas	-
16+000	Con variaciones significativas	No se evidencia la conformación del jarillón proyectado en el diseño en la margen derecha.
16+200	Sin variaciones significativas	-
16+400	Sin variaciones significativas	-
16+600	Sin variaciones significativas	-
16+800	Sin variaciones significativas	-
17+000	Sin variaciones significativas	-
17+200	Sin variaciones significativas	-
17+400	Sin variaciones significativas	-
17+600	Sin variaciones significativas	-
17+800	Sin variaciones significativas	-
18+000	Con variaciones significativas	No se evidencia la conformación del jarillón proyectado en el diseño en la margen derecha.
18+200	Sin variaciones significativas	-

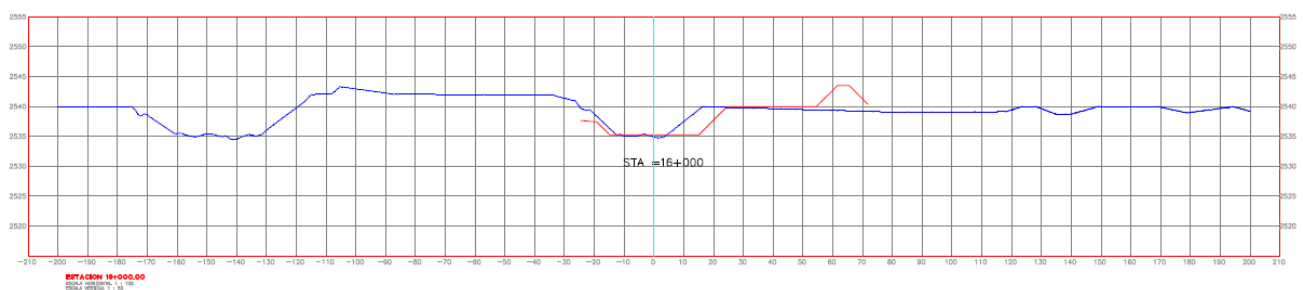
Tabla 2. (Continuación). Resultados cumplimiento en niveles de diseño

18+400	Sin variaciones significativas	-
18+600	Sin variaciones significativas	-
18+800	Sin variaciones significativas	-
19+000	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha
19+200	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha
19+400	Con variaciones significativas	No se evidencia la conformación del jarillón proyectado en el diseño en la margen derecha.
19+600	Posee variaciones	Se evidencia reducción en la conformación del jarillón proyectado en el diseño margen derecha
19+800	Sin variaciones significativas	-
20+000	Sin variaciones significativas	-
20+200	Sin variaciones significativas	-
20+400	Sin variaciones significativas	-
20+600	Sin variaciones significativas	-
20+800	Sin variaciones significativas	-
20+900	Sin variaciones significativas	-

Fuente: Los autores

En consecuencia, se evidencia que los diseños originales efectivamente experimentaron variaciones en su ejecución final, como se muestra en la siguiente figura de la sección 16+000:

Figura 7. Resultado comparación sección 16+000



Fuente: Los autores

Siendo así que para las 105 secciones analizadas se adjunta en el **ANEXO A. Secciones transversales diseño vs final** los planos dónde se puede observar el comparativo entre los niveles de diseño de adecuaciones del río y el resultado final ejecutado de dichas adecuaciones en el tramo de estudio.

2.2 ESTUDIO DE SEDIMENTOS DE FONDO Y SUSPENDIDOS.

2.2.1 Sedimentos de fondo

Para llevar a cabo la determinación del volumen de sedimentos de fondo removidos en el área de estudio del Río Bogotá, se hizo necesaria la obtención de las batimetrías ejecutadas.

Figura 8. Extracción sedimentos de fondo



Fuente: Informe técnico mensual No. 44 Consorcio Etsa Ayesa Geocing-Río Bogotá

Para ello, se recurrió a la Corporación Autónoma Regional (CAR), la cual posee la información tanto de las batimetrías iniciales como finales del tramo en estudio.

De tal manera que, el procedimiento realizado por la entidad para la determinación de estas batimetrías consistió en un sistema por barridos (realizada desde una lancha auxiliar dotada con un equipo que en esencia se compone de: Equipo de medición de la profundidad por ecosonda, posicionamiento automático por satélite, sistemas auxiliares de corrección [compensación de balanceo, etc.] y el software necesario para recoger y procesar en tiempo real todas las mediciones obtenidas).

En cada barrido se obtuvieron perfiles del fondo constituido por una serie continua de puntos de posicionamiento y sus correspondientes profundidades, estas posiciones se enviaron a un ordenador dotado del software hidrográfico HYPACK el cual permitió procesar todos los datos recibidos y obtener en tiempo real el perfil del fondo mediante puntos de coordenadas conocidas con su profundidad corregida.

Por consiguiente, el resultado obtenido en el software “HYPACK” en forma de ficheros DXF o también llamada nube de puntos, fueron los suministrados desde la CAR para llevar a cabo el objetivo propuesto en este proyecto.

De esta manera, la nube de puntos se llevó a modelamiento por medio del software “ArcGis”, siendo así que se realizó la superposición de las 2 superficies (batimetría inicial y batimetría final) en el programa, el cual una vez ejecutado proporcionó como resultado final el volumen total de sedimentos retirados en estos aproximadamente 21 kilómetros de tramo analizado.

A continuación, se procede a presentar los resultados del modelo realizado en ArcGIS y su respectiva tabla de resultados:

Figura 9. Modelo ArcGIS

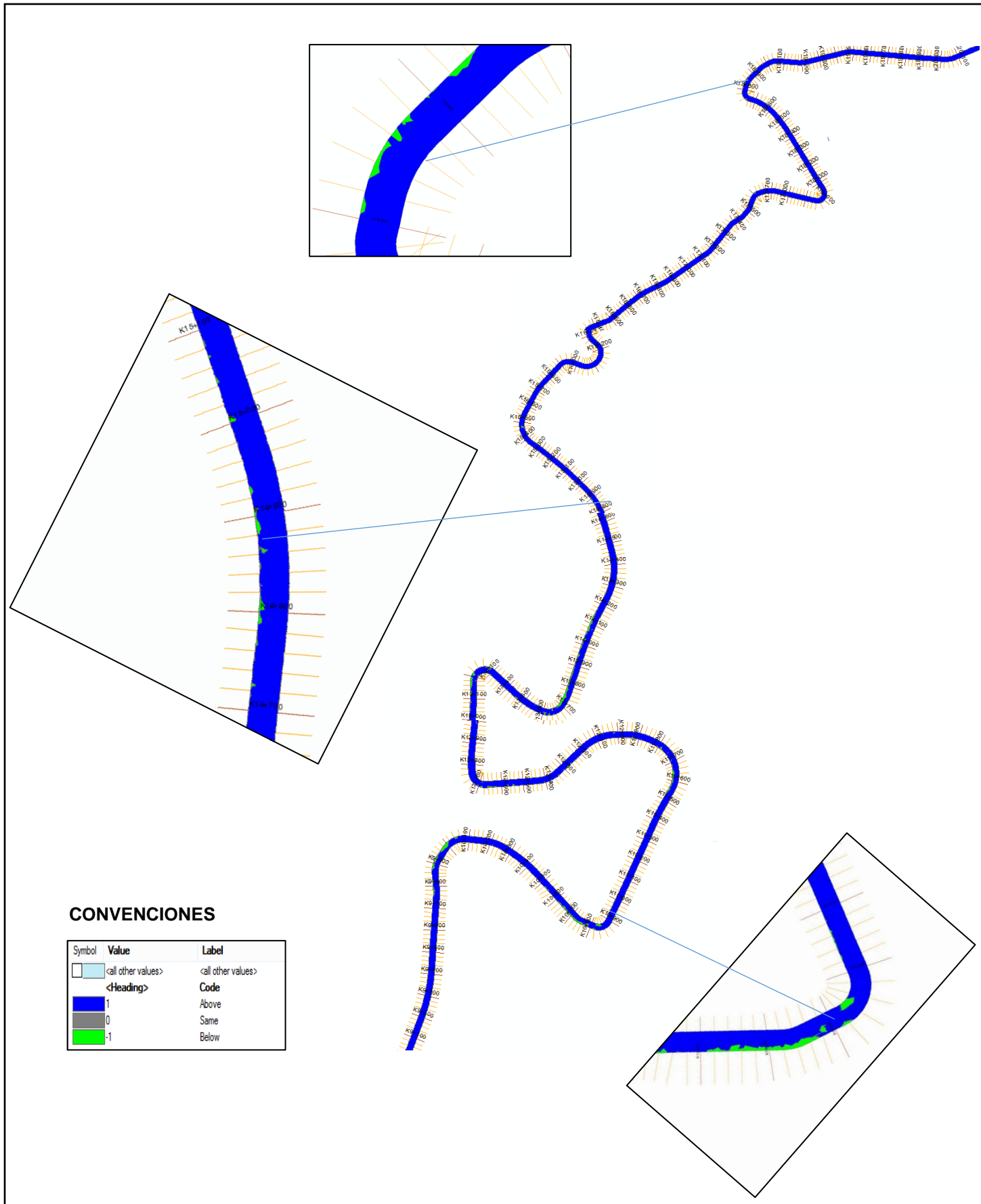
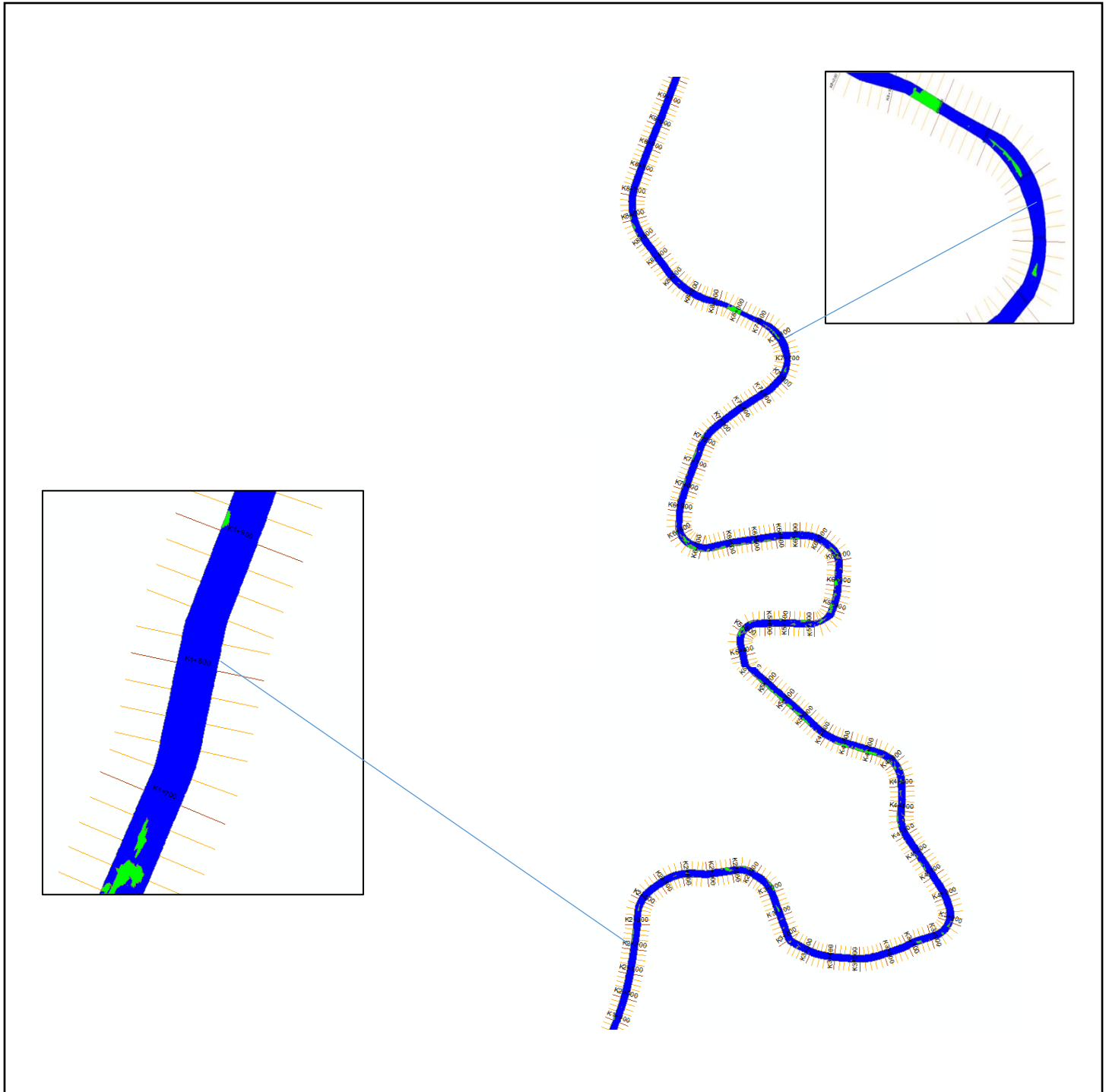


Figura 9. (Continuación). Modelo ArcGIS



Fuente: Los autores

En la Figura 9 se observan los resultados gráficos arrojados por el software, los cuales se discriminan por color de la siguiente manera: el color azul, corresponde a las áreas donde se retiró sedimentos; éste se identifica con el numero uno (1), para los puntos donde no se realizó el retiro de dichos sedimentos por el difícil acceso o por la existencia de “puentes”, se observa en el modelo áreas de color verde y corresponde a la identificación menos uno (-1); valores que no se tienen en cuenta en el momento de la sumatoria total de los sedimentos.

Como resultados numéricos, el software ArcGIS proporciona una tabla con los resultados obtenidos en el análisis, siendo así que para el presente análisis se obtuvo que:

Tabla 3. Resultados ArcGIS

Shape *	Volume	SArea
Polygon	865911,582	390321,5165
Polygon	286415,1321	194731,2986
Polygon	28960,15281	19197,96546
Polygon	191,062196	291,501425
Polygon	5,113403	57,81312
Polygon	0,34083	36,818569
Polygon	282,632755	234,838079
Polygon	1,546423	10,243862
Polygon	0,048607	1,738991
Polygon	0,537487	7,872062
Polygon	1,932464	14,719656
Polygon	5,227014	41,526643
Polygon	0,432262	5,073793
Polygon	0,118635	0,96841
Polygon	1,906194	17,303807
Polygon	0,726425	7,009034
Polygon	1,508251	14,603846
Polygon	5,35582	22,819015
Polygon	0,164364	2,882124
Polygon	1,882787	12,26705
Polygon	0,030396	0,838145
Polygon	0,10322	1,16835
Polygon	0,000001	0,001391
Polygon	2,172287	8,74712
Polygon	0,005023	0,317476
Polygon	0,001911	0,158257
Polygon	0,037272	0,75263
Polygon	3,492576	8,112381
Polygon	0,179384	1,894953
Polygon	6,378194	23,9093
Polygon	0,016789	0,844083
Polygon	0,498403	2,942786

Tabla 3. (Continuación). Resultados ArcGIS

Shape *	Volume	SArea
Polygon	0,012541	0,801751
Polygon	0,059036	0,995826
Polygon	0,085517	2,008611
Polygon	0,829973	7,209118
Polygon	0,848346	5,861262
Polygon	0,006525	0,281318
Polygon	0,056683	2,270863
Polygon	0,007269	0,28962
Polygon	0,034624	1,047265
Polygon	0,000018	0,006066
Polygon	0,000793	0,077588
Polygon	0,089869	1,563469
Polygon	0,000000	0,00011
Polygon	0,040266	0,898491
Polygon	0,011042	0,622489
Polygon	0,000002	0,001179
Polygon	0,013221	0,392686
Polygon	0,000197	0,032892
Polygon	0,000154	0,022786
Polygon	0,000891	0,075992
Polygon	0,004097	0,362132
Polygon	0,20197	2,26948
Polygon	0,151733	1,649836
Polygon	0,000249	0,048176

TOTAL VOLUMEN	1181800,83 m³
----------------------	---------------------------------

Fuente: Los autores

De esta manera el análisis en el software ArcGIS permitió determinar un volumen total de sedimentos de fondo removidos de 1'181.800,83 m³.

De acuerdo a los documentos técnicos de la CAR el tiempo aproximado de ejecución de este tramo fue de 22 meses, siendo así que se removió un promedio de 644.618,64 m³/año de sedimentos de fondo.

Por otro lado, para realizar la comprobación del volumen total de sedimentos retirados calculados a través del software ArcGIS, se tomó la nube de puntos de las batimetrías iniciales y finales y se llevó a modelación en el programa CivilCAD 3D con el objetivo de determinar las secciones del tramo en estudio cada 200 metros, posteriormente fueron exportados los 105 perfiles resultantes a AutoCAD, dónde se

sobrepusieron manualmente para definir la diferencia de área entre los polígonos, finalmente se formuló una tabla en Excel que permitiera determinar los volúmenes entre secciones, dando como resultado:

Tabla 4. Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K0+200,00	59,07	
		4898,00
K0+400,00	38,89	
		5492,00
K0+600,00	70,95	
		6127,00
K0+800,00	51,59	
		7372,00
K1+000	95,85	
		11191,48
K1+200,00	127,98	
		11540,98
K1+400,00	102,84	
		9715,50
K1+600,00	91,47	
		7510,45
K1+800,00	58,74	
		6727,71
K2+000	75,82	
		7625,26
K2+200,00	76,69	
		8662,65
K2+400,00	96,56	
		8051,65
K2+600,00	64,47	
		6841,00
K2+800,00	72,35	
		5278,00
K3+000	33,21	
		7102,00
K3+200,00	108,83	
		9210,50
K3+400,00	75,38	
		6826,04
K3+600,00	61,14	
		5669,04
K3+800,00	52,24	
		6918,50
Subtotal		142759,75 m3

Tabla 4. (Continuación). Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K4+000	86,13	
		6989,50
K4+200,00	53,66	
		5248,00
K4+400,00	51,30	
		4553,50
K4+600,00	39,77	
		6655,00
K4+800,00	93,33	
		8397,50
K5+000	74,62	
		10221,00
K5+200,00	129,80	
		10805,00
K5+400,00	86,30	
		7235,63
K5+600,00	58,41	
		6367,61
K5+800,00	68,94	
		6073,48
K6+000	52,53	
		5758,00
K6+200,00	62,63	
		5589,50
K6+400,00	49,16	
		5976,50
K6+600,00	70,37	
		5289,00
K6+800,00	35,41	
		7374,50
K7+000	112,08	
		9929,00
K7+200,00	86,50	
		8848,00
K7+400,00	90,46	
		8642,45
K7+600,00	82,39	
		9429,45
K7+800,00	106,20	
		12468,50
Subtotal		151851,11 m3

Tabla 4. (Continuación). Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K8+000	143,17	
		13390,50
K8+200,00	124,64	
		14794,50
K8+400,00	171,25	
		12766,81
K8+600,00	84,09	
		5555,81
K8+800,00	27,03	
		7694,33
K9+000	126,86	
		12041,21
K9+200,00	113,97	
		11625,89
K9+400,00	118,55	
		10580,50
K9+600,00	93,06	
		11943,00
K9+800,00	145,80	
		13238,26
K10+000	118,97	
		12399,14
K10+200,00	129,02	
		10274,89
K10+400,00	76,48	
		9402,50
K10+600,00	111,57	
		9104,50
K10+800,00	70,52	
		9205,50
K11+000	113,59	
		11313,72
K11+200,00	112,68	
		11606,22
K11+400,00	119,44	
		9588,00
K11+600,00	72,32	
		8894,50
K11+800,00	105,57	
		9395,79
Subtotal		214815,53 m3

Tabla 4. (Continuación). Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K12+000	82,35	
		13571,79
K12+200,00	189,09	
		14756,47
K12+400,00	106,04	
		9476,47
K12+600,00	83,49	
		10750,50
K12+800,00	131,52	
		10147,50
K13+000	71,43	
		5220,50
K13+200,00	32,98	
		6830,00
K13+400,00	103,62	
		8751,50
K13+600,00	71,41	
		9479,00
K13+800,00	118,17	
		12637,50
K14+000	134,58	
		10822,60
K14+200,00	81,87	
		10456,65
K14+400,00	127,26	
		11828,14
K14+600,00	109,30	
		10652,59
K14+800,00	103,75	
		10703,50
K15+000	110,32	
		10998,50
K15+200,00	109,65	
		13608,14
K15+400,00	162,51	
		15515,10
K15+600,00	147,79	
		12624,96
K15+800,00	104,71	
		15439,89
Subtotal		224271,27 m3

Tabla 4. (Continuación). Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K16+000	204,09	
		20219,89
K16+200,00	200,31	
		18953,50
K16+400,00	178,76	
		17250,75
K16+600,00	166,25	
		15947,55
K16+800,00	152,70	
		15412,53
K17+000	155,55	
		15060,23
K17+200,00	145,65	
		14447,44
K17+400,00	143,30	
		14041,94
K17+600,00	137,54	
		14101,84
K17+800,00	144,50	
		11932,17
K18+000	94,15	
		14042,16
K18+200,00	186,70	
		17015,94
K18+400,00	153,62	
		15851,61
K18+600,00	163,41	
		15742,01
K18+800,00	151,43	
		14984,01
K19+000	148,25	
		14602,10
K19+200,00	143,79	
		15687,69
K19+400,00	169,96	
		15916,44
K19+600,00	148,37	
		12494,85
K19+800,00	101,53	
		12198,65
Subtotal		305903,25 m3

Tabla 4. (Continuación). Resultados AutoCAD

ABSCISA	AREA	VOLUMEN
K20+000	142,44	
		15613,22
K20+200,00	169,82	
		19194,13
K20+400,00	214,06	
		19431,41
K20+600,00	174,57	
		16973,27
K20+800,00	164,90	
		7843,46
K20+900,00	148,84	
Subtotal		79055,48 m3

TOTAL VOLUMEN	1118656,38 m3
----------------------	----------------------

ELABORÓ: KATHERINE AVILA
DANIEL EDUARDO REINO

Fuente: Los autores

De esta manera, se determinó a través de este programa un volumen total de sedimentos de fondo removidos de 1'118.656,38 m³.

Una vez obtenidos los resultados entre los softwares propuestos, se puede evidenciar que el software ArcGIS genera mayor exactitud sobre el AutoCAD, puesto que su análisis radica en triangulaciones entre secciones cada 20 metros mientras que el procedimiento realizado en AutoCAD fue manualmente cada 200 metros, generando así un mayor grado de incertidumbre.

Es así que las secciones generadas a través de AutoCAD y utilizadas para la extracción de áreas en cada una de ellas se adjuntan como resultado en el **ANEXO B. Secciones transversales inicial vs final.**

2.2.2 Sedimentos suspendidos

Se llevó a cabo el análisis de los sólidos suspendidos totales (SST) en el tramo de investigación, siendo así que se realizó la solicitud de las campañas de muestreo de parámetros fisicoquímicos a la oficina de Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) desde el periodo 2013-2 hasta 2015-1, los cuales correspondieron al periodo de ejecución de la adecuación hidráulica en este sector, de esta manera se buscó determinar el promedio de m³/mes de SST.

Dentro de las campañas suministradas; que correspondieron a dos (2) campañas por año (con lo cual la información se constituyó como mínima para fines probabilísticos), se procedió a escoger los puntos de muestreo que se ubican en el tramo de estudio:

- Aguas abajo río Tunjuelo
- LG Las Huertas

Es así que se extrajeron los datos correspondientes a SST y su fecha de toma de muestra para determinar los caudales:

Tabla 5. Reporte de datos SST

Nombre del punto	Valor de la concentración (mg SST / L)	Campaña	Fecha de muestreo
Aguas abajo río Tunjuelo	195	2013-01	2013-07-24
LG las Huertas	96	2013-01	2013-07-26
Aguas abajo río Tunjuelo	188	2013-02	2013-11-27
LG las Huertas	324	2013-02	2013-12-02
Aguas abajo río Tunjuelo	180	2014-01	2014-05-29
LG las Huertas	118	2014-01	2014-05-30
Aguas abajo río Tunjuelo	164	2014-02	2014-09-18
LG las Huertas	107	2014-02	2014-09-22
Aguas abajo río Tunjuelo	340	2015-01	2015-03-25
LG las Huertas	130	2015-01	2015-03-26

Fuente: Los autores

Los documentos técnicos de reporte de datos de SST se adjuntan en el **ANEXO C. Mediciones parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Bogotá.**

Una vez determinadas las fechas de toma de muestras se establecieron los caudales a través de los diversos documentos técnicos que proporciona la CAR como se resume a continuación:

Tabla 6. Reporte de caudales medios

Fecha de muestreo	Caudal medio (m ³ /s)	Estación hidrometeorológica	OBSERVACIONES
2013-07-24	52,562	Las Huertas	Boletín estadístico de hidrología y climatología 2013.
2013-07-26	56,618	Las Huertas	Boletín estadístico de hidrología y climatología 2013.
2013-11-27	38,366	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos registrados en la estación Las Huertas, por tanto, se usa la estación Pte. Cundinamarca- Boletín estadístico de hidrología y climatología 2013.
2013-12-02	49,920	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos registrados en la estación Las huertas, por tanto, se usa la estación Pte. Cundinamarca - Boletín estadístico de hidrología y climatología 2013.
2014-05-29	7,65	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos publicados en el Boletín estadístico de hidrología y climatología 2014 para las estaciones de Las huertas ni Pte. Cundinamarca, por tanto, se consulta el reporte diario de precipitaciones y niveles No. 149 del 29/05/2014 donde se reporta el caudal medido para la estación de Pte. Cundinamarca.
2014-05-30	7,65	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos publicados en el Boletín estadístico de hidrología y climatología 2014 para las estaciones de Las huertas ni Pte. Cundinamarca, por tanto, se consulta el reporte diario de precipitaciones y niveles No. 150 del 30/05/2014 donde se reporta el caudal medido para la estación de Pte. Cundinamarca.
2014-09-18	6,83	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos publicados en el Boletín estadístico de hidrología y climatología 2014 para las estaciones de Las huertas ni Pte. Cundinamarca, por tanto, se consulta el reporte diario de precipitaciones y niveles del 18 de septiembre de 2014 donde se reporta el caudal medido para la estación de Pte. Cundinamarca.
2014-09-22	7,32	PTE CUNDINAMARCA	No se tienen datos publicados en el Boletín estadístico de hidrología y climatología 2014 para las estaciones de Las Huertas ni Pte. Cundinamarca, así mismo No se encontró publicado el boletín diario del 22 de septiembre de 2014, siendo así que una vez consultado el boletín mensual de septiembre de 2014 donde se reporta que durante este mes en general predominó el tiempo seco en la jurisdicción, y como consecuencia del escaso volumen de lluvias los caudales se mantuvieron estables, se procedió a realizar el promedio del caudal entre un día antes y uno después del 22/09/2014 para la estación de Pte. Cundinamarca, y así asignar un valor promedio para el caudal en el día no publicado: 21/09/2014 Q= 7.65 m ³ /s 23/09/2014 Q=6.99 m ³ /s Promedio Q= 7.32 m ³ /s
2015-03-25	33,507	Las Huertas	Boletín estadístico de hidrología y climatología 2015
2015-03-26	34,742	Las Huertas	Boletín estadístico de hidrología y climatología 2015

Fuente: Los autores

Los documentos técnicos de reporte de datos de caudales se adjuntan en el **ANEXO D. Reporte de mediciones de caudales.**

Posteriormente se procedió a realizar los cálculos correspondientes a kg SST/día así:

$$\frac{mg\ SST}{L} * \frac{m^3}{s} * \frac{1000L}{1\ m^3} * \frac{1\ kg}{1 * 10^6 mg} * \frac{86400\ s}{1\ día} = \frac{kg\ SST}{día} \quad (1)$$

Para determinar el volumen en m³ SST/día se procedió a dividir el resultado de (1) entre la densidad de los sedimentos suspendidos³⁴ de 2650 kg/m³ de la siguiente manera:

$$\frac{\frac{kg\ SST}{día}}{\frac{kg}{m^3}} = \frac{m^3\ SST}{día} \quad (2)$$

En cuanto a m³ SST/mes se procedió así:

$$\frac{m^3\ SST}{día} * \frac{30.416\ día}{1\ mes} = \frac{m^3\ SST}{mes} \quad (3)$$

Al tener algunos resultados del mismo mes, se procedió a agrupar estos resultados, realizando el promedio por mes donde ameritaba.

Como resultado se obtiene el siguiente cuadro resumen:

³⁴ Valor de referencia tomado de MONTOYA, L.J., Dinámica oceanográfica del Golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Disertación doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia: 2010.

Tabla 7. Resumen de cálculos

Nombre del punto	Valor de la concentración (mg SST /L)	Caudal medio (m³/s)	Kg SST/día	m³ SST/día	m³ SST/mes	Promedio m³ SST/mes
Aguas abajo río Tunjuelo	195	52,562	885564,58	334,18	10164,28	7777,18
LG las Huertas	96	56,618	469612,34	177,21	5390,09	
Aguas abajo río Tunjuelo	188	38,366	623186,61	235,16	7152,77	7152,77
LG las Huertas	324	49,920	1397440,51	527,34	16039,45	16039,45
Aguas abajo río Tunjuelo	180	7,65	118972,80	44,90	1365,54	1130,36
LG las Huertas	118	7,650	77993,28	29,43	895,19	
Aguas abajo río Tunjuelo	164	6,83	96778,37	36,52	1110,80	943,76
LG las Huertas	107	7,32	67671,94	25,54	776,72	
Aguas abajo río Tunjuelo	340	33,507	984301,63	371,43	11297,55	7888,21
LG las Huertas	130	34,742	390222,14	147,25	4478,87	

Fuente: Los autores

Posteriormente se procedió a realizar un promedio general sumando los 6 resultados agrupados, dividido entre los 6 meses, dando como resultado un promedio general por mes:

Tabla 8. Resumen de cálculos promedio general por mes

Nombre del punto	Promedio m³ SST/mes	Promedio general m³ SST/mes
Aguas abajo río Tunjuelo	7777,18	6821,96
LG las Huertas		
Aguas abajo río Tunjuelo	7152,77	
LG las Huertas	16039,45	
Aguas abajo río Tunjuelo	1130,36	
LG las Huertas		
Aguas abajo río Tunjuelo	943,76	
LG las Huertas		
Aguas abajo río Tunjuelo	7888,21	
LG las Huertas		

Fuente: Los autores

De esta manera, se obtiene que al mes se tendrá un promedio general de 6.821,96 m³ de sedimentos en suspensión, siendo así que se tendría un promedio acumulado de 81.863,52 m³/año de sedimentos en suspensión.

Por otro lado, considerando que estos sedimentos en suspensión llegasen a depositarse en el fondo del canal, se puede determinar de acuerdo a los m³ SST/mes calculados, que en alrededor de 173 meses; cerca de 14.4 años, se aproximaría a igualar la cantidad de sedimentos de fondo removidos calculados por el software ArcGIS, es decir, una cantidad 1'180.198,42 m³.

Al estudiar el comportamiento de los procesos de suspensión de sedimentos, transporte y su posterior depósito, deben considerarse no solo las condiciones del flujo sino también las características del sedimento, la topografía y variables conexas al entorno del cauce.

2.3 DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS ADECUACIONES QUE CONFORMAN EL SISTEMA

2.3.1 Determinación de caudales para periodos de retorno a 25, 50 y 100 años

Para el desarrollo del análisis hidráulico en el software HEC-RAS se requirió de la determinación de los caudales, máximos en este caso, para los periodos de retorno a 25, 50 y 100 años.

Siendo así que se partió de los históricos de los valores máximos mensuales de caudales en m³/s publicados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) de la estación denominada PTE CUNDINAMARCA.

De esta manera se determinó el valor máximo del caudal por cada año reportado en los históricos, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 9. Resultados valores máximos caudales

C A R - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA														
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica														
VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m ³ /s)														
ESTACIÓN : 2120714 PTE CUNDINAMARCA														
Latitud	0442 N	X=-N=1011950	Departamento	BOGOTA	Corriente	R. BOGOTA	Categoría	LM						
Longitud	7410 W	Y=-E=989670	Municipio	SANTAFE DE BOGOT	Cuenca	R. BOGOTA	Fecha Instalación	02/01/1956						
Elevación	2540 m.s.n.m		Oficina Provincial	10 SABANA OCCIDENTE			Fecha Suspensión							
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	MAX	
1969	23,460	18,500	18,950	31,250	28,160	18,910	16,180	13,050	17,510	36,420	35,680	20,500	36,420	
1970	22,430	22,850	18,160	18,030	25,270	19,810	17,510	18,890	21,140	54,740	58,450	26,800	58,450	
1971	18,860	22,600	29,850	53,240	56,000	54,260	29,270	31,170	31,540	36,420	35,800	30,050	56,000	
1972	39,700	22,440	21,980	56,170	62,270	51,930	46,540	31,490	22,760	24,860	31,670	17,830	62,270	
1973	17,980	17,200	22,120	24,150	25,200	18,630	17,830	44,990	38,770	23,610	43,120	42,680	44,990	
1974	15,290	26,000	25,510	30,470	35,940	18,220	16,820	16,050	23,680	29,360	35,740	30,560	35,940	
1975	18,220	18,540	21,530	25,600	37,060	24,540	19,670	22,410	25,250	30,760	34,940	36,480	37,060	
1976	21,560	22,100	23,980	45,320	29,200	29,390	37,210	26,560	37,390	44,510	47,710	26,890	47,710	
1977	21,190	20,480	26,580	27,810	27,620	19,470	12,880	11,070	20,480	19,900	29,380	11,710	29,380	
1978	12,770	10,550	15,530	25,100	14,900	18,660	17,720	14,390	15,900	14,900	15,410	25,520	25,520	
1979	20,880	19,160	18,870	38,140	42,730	45,520	23,040	26,400	25,520	56,780	59,780	53,440	59,780	
1980	22,260	23,480	17,740	33,670	33,390	40,250	28,230	25,580	22,260	39,950	39,050	23,080	40,250	
1981	19,560	15,030	15,200	31,330	70,620	39,360	13,270	16,510	27,110	29,160	23,890	18,270	70,620	
1982	35,170	22,520	33,140	67,160	82,300	28,730	24,100	17,260	18,450	31,220	37,170	26,310	82,300	
1983	15,410	22,120	40,000	58,030	30,980	15,070	24,490	21,350	23,720	28,730	23,120	25,650	58,030	
1984	21,720	17,100	9,850	5,920	16,440	18,810	11,960	13,760	22,920	12,370	26,530	13,350	26,530	
1985	7,660	5,070	6,540	7,990	19,170	17,100	14,730	13,900	20,980	32,380	8,890	5,690	32,380	
1986	12,370	39,740	36,920	20,980	30,750	39,220	26,530	28,870	30,520	54,450	52,500	25,650	54,450	
1987	18,270	26,970	26,530	40,000	41,960	22,120	30,060	19,170	23,520	38,710	38,450	34,150	41,960	
1988	20,430	21,530	17,100	26,090	21,350	20,070	16,770	14,170	17,760	45,740	44,270	37,940	45,740	
1989	13,620	22,520	28,950	18,270	29,610	26,310	20,980	15,920	19,530	23,320	24,490	20,800	29,610	
1990	30,690	23,610	33,860	37,720	72,180	29,340	19,950	26,770	25,790	38,920	38,020	47,730	72,180	
1991	26,070	19,830	37,920	30,720	35,390	18,160	24,650	35,390	27,640	23,080	55,090	38,170	55,090	
2003	16,222	14,769	39,275	36,830	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	39,275	
2007	18,320	22,854	41,177	53,987	33,378	46,567	36,830	28,627	17,955	81,226	86,556	71,268	86,556	
2008	26,873	33,246	46,849	50,368	80,620	44,583	48,892	36,292	33,018	49,187	56,638	51,597	80,620	
2009	24,947	36,053	36,789	42,136	31,454	22,224	20,210	34,157	16,549	42,952	27,465	20,531	42,952	
2010	14,496	12,993	10,719	60,996	49,777	43,495	63,066	55,039	27,070	43,767	82,686	103,569	103,569	
2011	32,790	34,385	66,995	97,841	104,088	86,961	36,530	37,785	28,274	63,412	95,495	105,549	105,549	
2012	31,447	29,723	42,941	91,382	62,715	31,447	33,007	51,890	25,886	48,584	29,513	33,463	91,382	
2013	15,701	0,000	35,563	42,941	25,505	42,941	21,366	31,227	18,927	28,474	41,075	50,069	50,069	
2014	21,032	16,400	24,935	15,156	22,224	22,576	19,718	11,385	10,820	17,858	0,000	0,000	24,935	
2015	20,389	22,414	24,461	25,936	16,260	32,244	31,484	28,467	24,167	12,634	24,021	13,881	32,244	

Fuente: Los autores

Una vez obtenidos los valores máximos de los históricos, se realizó el análisis en el software SMADA (Stormwater Management and Design Aida) a través de los siguientes métodos de distribución: 3 Parameter Log Normal y Gumbel, con el objetivo de determinar los caudales en los periodos de retorno a 25, 50 y 100 años, obteniendo de esta manera:

Figura 10. Resultados 3 Parameter Log Normal

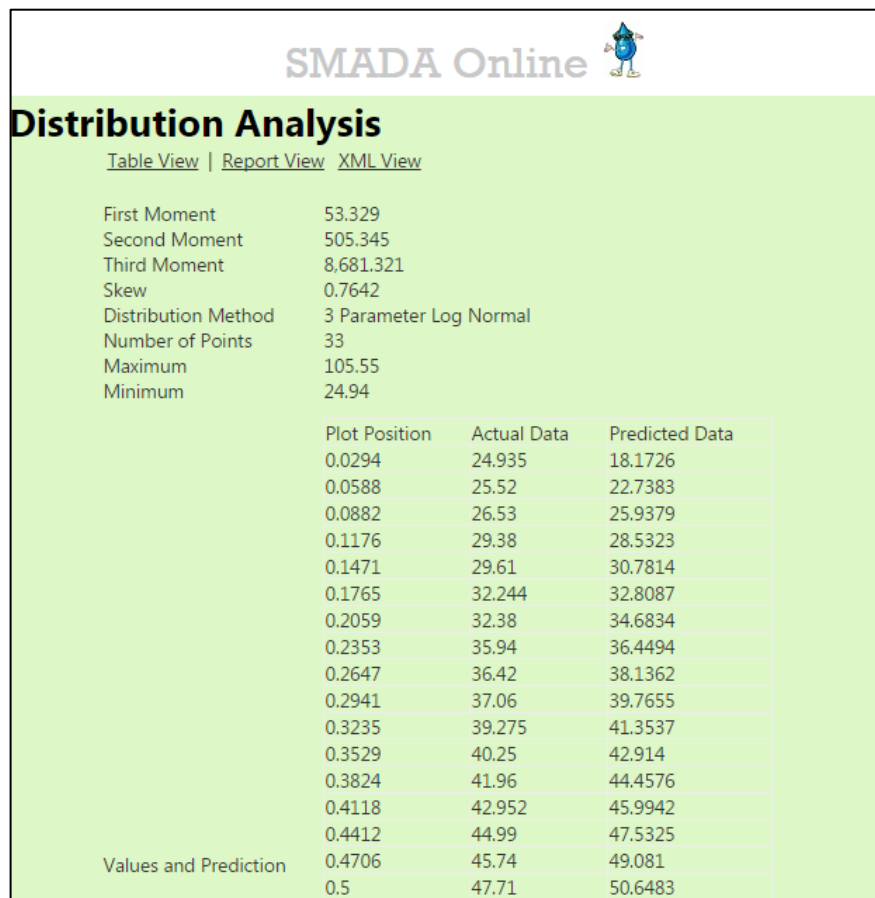
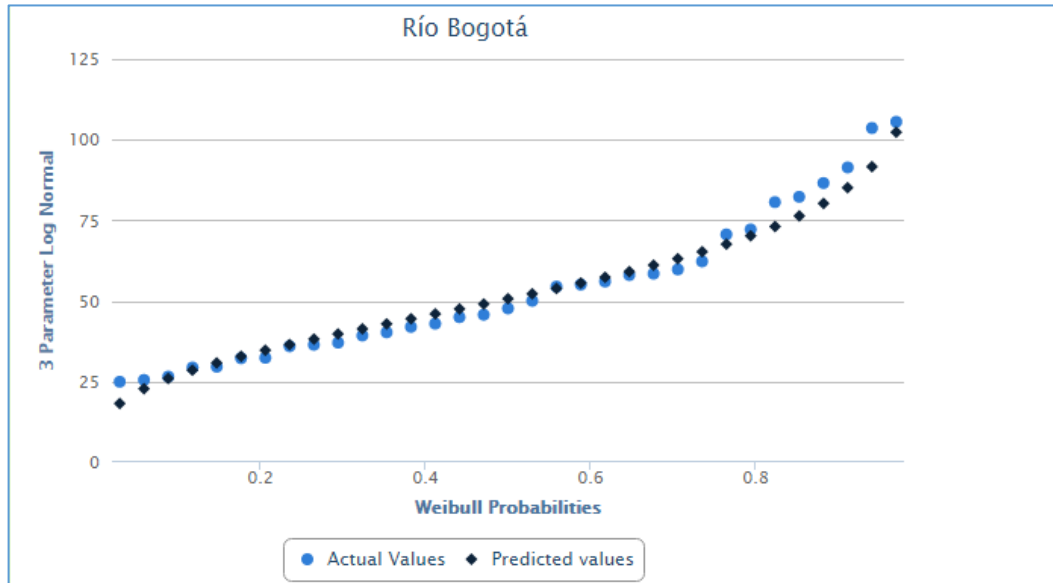


Figura 10. (Continuación). Resultados 3 Parameter Log Normal

	0.5294	50.069	52.2439
	0.5588	54.45	53.879
	0.5882	55.09	55.5638
	0.6176	56	57.3105
	0.6471	58.03	59.133
	0.6765	58.45	61.0486
	0.7059	59.78	63.0786
	0.7353	62.27	65.2505
	0.7647	70.62	67.601
	0.7941	72.18	70.1807
	0.8235	80.62	73.0626
	0.8529	82.3	76.3591
	0.8824	86.556	80.256
	0.9118	91.382	85.0982
	0.9412	103.599	91.6516
	0.9706	105.549	102.3255
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	200	0.995	0
	100	0.99	118.0903
	50	0.98	108.0554
	25	0.96	97.659

Fuente: Los autores

Figura 11. Proyección de probabilidades Weibull



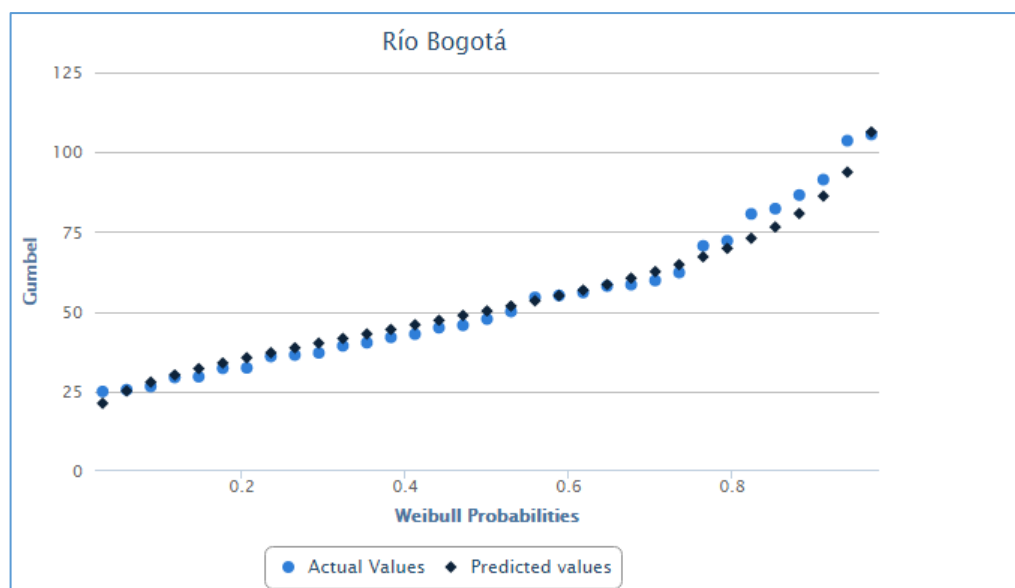
Fuente: Los autores

Figura 12. Resultados Gumbel

Distribution Analysis				
Table View Report View XML View				
First Moment	53.329			
Second Moment	505.345			
Third Moment	8,681.321			
Skew	0.7642			
Distribution Method	Gumbel			
Number of Points	33			
Maximum	105.55			
Minimum	24.94			
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data	
	0.0294	24.935	21.2306	
	0.0588	25.52	25.1353	
	0.0882	26.53	27.8908	
	0.1176	29.38	30.1411	
	0.1471	29.61	32.1057	
	0.1765	32.244	33.8888	
	0.2059	32.38	35.5493	
	0.2353	35.94	37.1242	
	0.2647	36.42	38.6391	
	0.2941	37.06	40.1125	
	0.3235	39.275	41.5592	
	0.3529	40.25	42.9908	
	0.3824	41.96	44.4175	
	0.4118	42.952	45.8487	
	0.4412	44.99	47.2929	
	0.4706	45.74	48.7586	
	0.5	47.71	50.2545	
	Return Periods	0.5294	50.069	51.7899
		0.5588	54.45	53.3751
0.5882		55.09	55.0214	
0.6176		56	56.7422	
0.6471		58.03	58.5537	
0.6765		58.45	60.4754	
0.7059		59.78	62.5322	
0.7353		62.27	64.7562	
0.7647		70.62	67.1907	
0.7941		72.18	69.8958	
0.8235		80.62	72.959	
0.8529		82.3	76.5157	
0.8824		86.556	80.7921	
0.9118		91.382	86.2119	
0.9412		103.599	93.7256	
0.9706		105.549	106.3647	
		Return Period	Probability	Prediction
	200	0.995	138.1996	
	100	0.99	125.7881	
	50	0.98	113.3311	
	25	0.96	100.7815	

Fuente: Los autores

Figura 13. Proyección de probabilidades Weibull



Fuente: Los autores

Una vez obtenidos los caudales para dichos periodos de retorno, se procedió a realizar un promedio entre ellos:

Tabla 10. Resultados periodos de retorno

PERIODO DE RETORNO	3 Parameter Log Normal	Gumbel	PROMEDIO (m ³ /s)
25 años	97,66	100,78	99,22
50 años	108,06	113,33	110,70
100 años	118,09	125,79	121,94

Fuente: Los autores

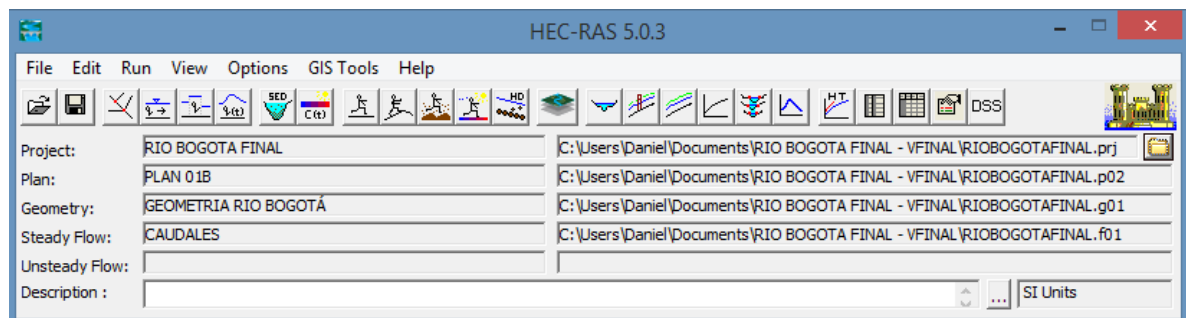
Estos caudales máximos obtenidos se ingresaron en el parámetro *Steady Flow Data* del software HEC-RAS.

2.3.2 Modelación hidráulica en el software HEC-RAS

A través del software HEC-RAS (Hydrological Engineering Center - River Analysis System), se efectuó el respectivo análisis de las secciones transversales finales ejecutadas en el marco de la adecuación hidráulica del tramo en estudio del Río Bogotá, esto con el fin de realizar el diagnóstico hidráulico y, por tanto, de zonas con riesgo de inundación con las obras terminadas, a saber: el dragado del canal, ampliación de bermas y realce en jarillones en algunas secciones.

Para ello se describe a continuación la procedencia de cada uno de los parámetros ingresados en el modelamiento:

Figura 14. Modelación hidráulica HEC-RAS



Fuente: Los autores

consiste

Project

Esta celda corresponde a la carpeta que almacena cada uno de los datos ingresados en el modelo.

Plan

Esta celda corresponde al procesamiento de la información y ejecución de la simulación con los parámetros de geometría y datos hidráulicos ingresados, siendo así que una vez ejecutada correctamente la simulación proporciona la información hidráulica final de las secciones transversales.

Geometry

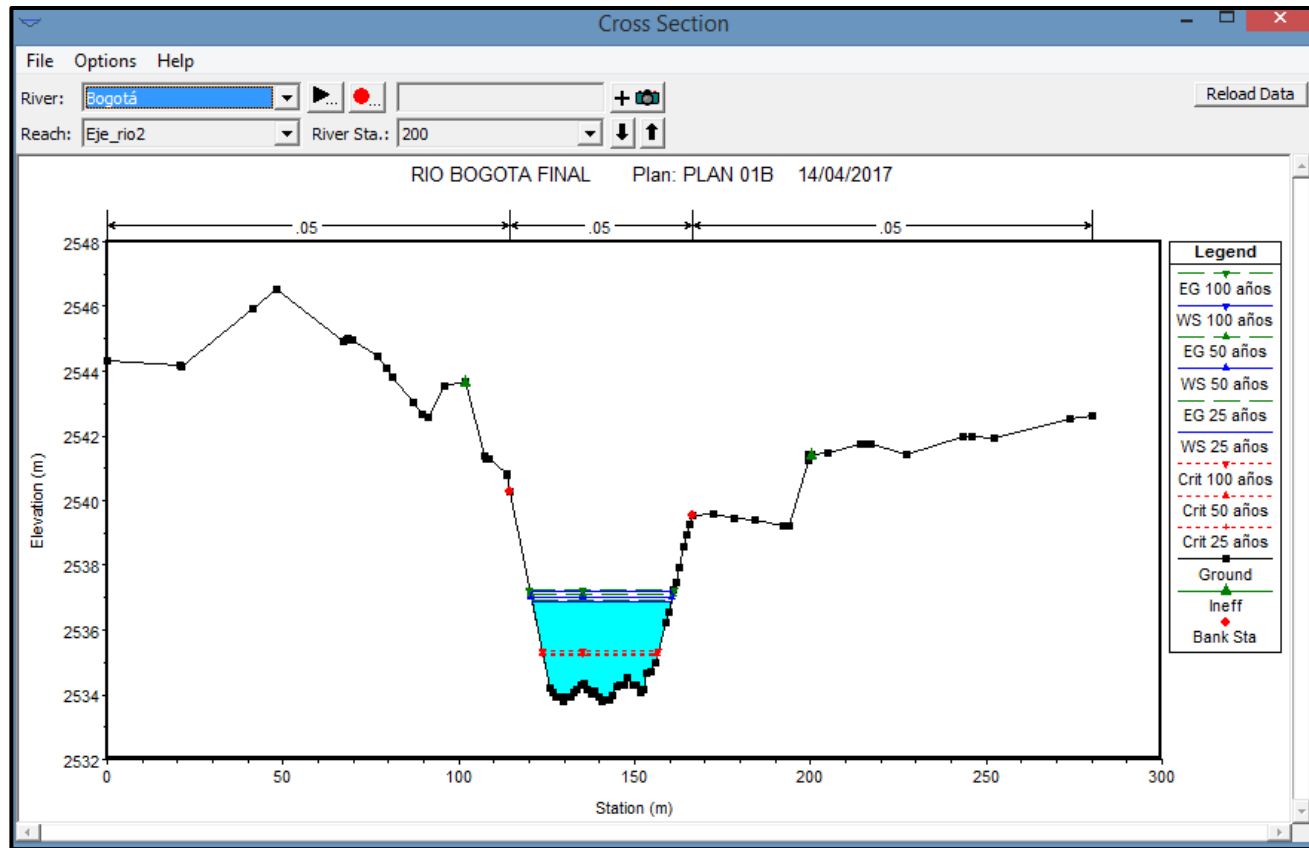
En este parámetro se ingresaron las secciones transversales finales del tramo en estudio, generadas previamente en el AutoCad Civil 3D y que serán evaluadas en el software.

Steady Flow

En este parámetro se ingresaron los caudales de los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años calculados previamente a través de SMADA.

Con el fin de comprender las convenciones presentadas en cada una de las imágenes posteriores de resultados se expondrá por una única vez el significado de dichas convenciones, siendo así que para una sección escogida se tiene:

Figura 15. Ejemplo convenciones en resultados



Fuente: Los autores

Las leyendas relevantes en la imagen de resultado corresponden a:

River station: consiste en la sección transversal en estudio

EG 100 años: corresponde a la elevación de la línea de energía total a 100 años

WS 100 años: corresponde a la elevación de la superficie o nivel de agua a 100 años

EG 50 años: corresponde a la elevación de la línea de energía total a 50 años

WS 50 años: corresponde a la elevación de la superficie o nivel de agua a 50 años

EG 25 años: corresponde a la elevación de la línea de energía total a 25 años

WS 25 años: corresponde a la elevación de la superficie o nivel de agua a 25 años


Crit 100 años: corresponde a la profundidad o tirante crítico a 100 años

Crit 50 años: corresponde a la profundidad o tirante crítico a 50 años

Crit 25 años: corresponde a la profundidad o tirante crítico a 25 años

Ground: corresponde al trazado de la sección transversal

Ineff: corresponde a los límites definidos de las áreas inefectivas.

Áreas inefectivas: corresponden a "...áreas de la sección transversal que no influyen activamente al transporte de caudal, es decir, se considera que la velocidad del agua es nula. La diferencia con un límite físico es que el área inefectiva no agrega perímetro mojado al flujo."³⁵, estas son representadas en las imágenes por el siguiente achurado: 

Bank station: corresponde a la definición del canal del río, y donde comienza la llanura de la sección transversal en ambos lados

Para la presentación de los resultados se procede a relacionar una tabla con el diagnóstico de cada una de las secciones transversales analizadas, así mismo en las secciones donde aparezca [*] se presentará una imagen del resultado, la cual se encuentra al final de esta tabla.

En cuanto a las demás imágenes de resultados se informa que estas harán parte del **ANEXO E. Resultados secciones transversales HEC-RAS** del presente documento de investigación.

Así mismo, se adjuntan los resultados del análisis hidráulico de la simulación por el software HEC-RAS de cada una de las secciones transversales en cada periodo de retorno analizado en el **ANEXO F. Resultados análisis hidráulico HEC-RAS.**

De esta manera, los resultados del diagnóstico realizado fueron:

³⁵ SELVITECUM. Definición de áreas inefectivas [en línea]. España: Selvitecum. [Citado 18 marzo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://selvitecum.com/blog/tag/hec-ras/> >

Tabla 11. Resultados diagnóstico HEC-RAS

SECCIÓN	DIAGNÓSTICO	OBSERVACIONES
0+200	Las obras de adecuación cumplen	-
0+400	Las obras de adecuación cumplen	-
0+600	Las obras de adecuación cumplen [*]	-
0+800	Las obras de adecuación cumplen	-
1+000	Las obras de adecuación cumplen	-
1+200	Las obras de adecuación cumplen	-
1+400	Las obras de adecuación cumplen	-
1+600	Las obras de adecuación cumplen	-
1+800	Las obras de adecuación cumplen	-
2+000	Las obras de adecuación cumplen	-
2+200	Las obras de adecuación cumplen	-
2+400	Las obras de adecuación cumplen	-
2+600	Las obras de adecuación cumplen	-
2+800	Las obras de adecuación cumplen	-
3+000	Las obras de adecuación cumplen	-
3+200	Las obras de adecuación cumplen	-
3+400	Las obras de adecuación cumplen [*]	-
3+600	Las obras de adecuación cumplen	-
3+800	Las obras de adecuación cumplen	-
4+000	Las obras de adecuación cumplen	-
4+200	Las obras de adecuación cumplen	-
4+400	Las obras de adecuación cumplen	-
4+600	Las obras de adecuación cumplen	-
4+800	Las obras de adecuación cumplen	-
5+000	Las obras de adecuación cumplen	-
5+200	Las obras de adecuación cumplen	-
5+400	Las obras de adecuación cumplen	-
5+600	Las obras de adecuación cumplen	-
5+800	Las obras de adecuación cumplen	-
6+000	Las obras de adecuación cumplen	-
6+200	Las obras de adecuación cumplen	-
6+400	Las obras de adecuación cumplen	-
6+600	Las obras de adecuación cumplen	-
6+800	Las obras de adecuación cumplen	-
7+000	Las obras de adecuación cumplen	-
7+200	Las obras de adecuación cumplen	-
7+400	Las obras de adecuación cumplen	-

Tabla 11. (Continuación). Resultados diagnóstico HEC-RAS

7+600	Las obras de adecuación cumplen	-
7+800	Las obras de adecuación cumplen	-
8+000	Las obras de adecuación cumplen	-
8+200	Las obras de adecuación cumplen	-
8+400	Las obras de adecuación cumplen	-
8+600	Las obras de adecuación cumplen	-
8+800	Las obras de adecuación cumplen	-
9+000	Las obras de adecuación cumplen [*]	-
9+200	Las obras de adecuación cumplen	-
9+400	Las obras de adecuación cumplen	-
9+600	Las obras de adecuación cumplen	-
9+800	Las obras de adecuación cumplen	-
10+000	Las obras de adecuación cumplen	-
10+200	Las obras de adecuación cumplen	-
10+400	Las obras de adecuación cumplen	-
10+600	Las obras de adecuación cumplen	-
10+800	Las obras de adecuación cumplen	-
11+000	Las obras de adecuación cumplen	-
11+200	Las obras de adecuación cumplen	-
11+400	Las obras de adecuación cumplen	-
11+600	Las obras de adecuación cumplen	-
11+800	Las obras de adecuación cumplen	-
12+000	Las obras de adecuación cumplen	-
12+200	Las obras de adecuación cumplen	-
12+400	Las obras de adecuación cumplen [*]	Aunque se cumple a un periodo de retorno de 100 años, se recomienda aumentar en la margen derecha el nivel, puesto que, puede ser una zona vulnerable a inundación frente a crecientes atípicas del nivel de agua
12+600	Las obras de adecuación cumplen	-
12+800	Las obras de adecuación cumplen	-
13+000	Las obras de adecuación cumplen [*]	Aunque se cumple a un periodo de retorno de 100 años, se recomienda emplazar una contención en tierra, puesto que, puede ser una zona vulnerable a inundación frente a crecientes atípicas del nivel de agua.
13+200	Las obras de adecuación cumplen	-
13+400	Las obras de adecuación cumplen	-
13+600	Las obras de adecuación cumplen	-
13+800	Las obras de adecuación cumplen	-
14+000	Las obras de adecuación cumplen [*]	-

Tabla 11. (Continuación). Resultados diagnóstico HEC-RAS

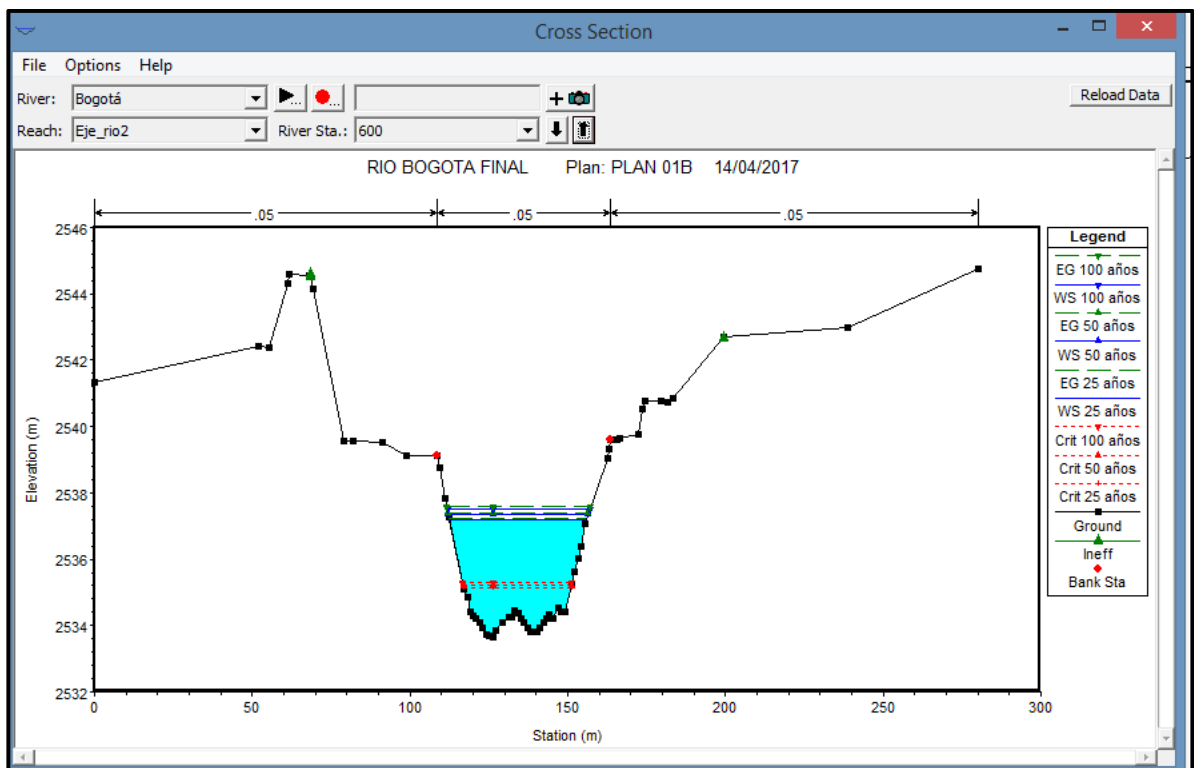
14+200	Las obras de adecuación cumplen	-
14+400	Las obras de adecuación cumplen	-
14+600	Las obras de adecuación cumplen	-
14+800	Las obras de adecuación cumplen	-
15+000	Las obras de adecuación cumplen	-
15+200	Las obras de adecuación cumplen	-
15+400	Las obras de adecuación cumplen	-
15+600	Las obras de adecuación cumplen	-
15+800	Las obras de adecuación cumplen	-
16+000	Las obras de adecuación NO cumplen [*]	Hacia la margen derecha de la sección transversal se observa inundación de la sección desde un periodo de retorno de 25 años, por tanto, se recomienda aumentar la contención en tierra para evitar inundaciones en consecuencia a crecientes del río.
16+200	Las obras de adecuación cumplen	-
16+400	Las obras de adecuación cumplen	-
16+600	Las obras de adecuación cumplen	-
16+800	Las obras de adecuación cumplen	-
17+000	Las obras de adecuación cumplen	-
17+200	Las obras de adecuación cumplen	-
17+400	Las obras de adecuación cumplen	-
17+600	Las obras de adecuación cumplen	-
17+800	Las obras de adecuación cumplen	-
18+000	Las obras de adecuación cumplen	-
18+200	Las obras de adecuación cumplen	-
18+400	Las obras de adecuación cumplen [*]	-
18+600	Las obras de adecuación cumplen	-
18+800	Las obras de adecuación cumplen	-
19+000	Las obras de adecuación cumplen	-
19+200	Las obras de adecuación cumplen	-
19+400	Las obras de adecuación NO cumplen [*]	Hacia la margen derecha de la sección transversal se observa inundación de la sección desde un periodo de retorno de 25 años, por tanto, se recomienda emplazar una contención en tierra para evitar inundaciones en consecuencia a crecientes del río.
19+600	Las obras de adecuación cumplen	-
19+800	Las obras de adecuación cumplen	-
20+000	Las obras de adecuación cumplen [*]	-
20+200	Las obras de adecuación cumplen	-

Tabla 11. (Continuación). Resultados diagnóstico HEC-RAS

20+400	Las obras de adecuación cumplen	-
20+600	Las obras de adecuación cumplen	-
20+800	Las obras de adecuación cumplen	-
20+900	Las obras de adecuación cumplen	-

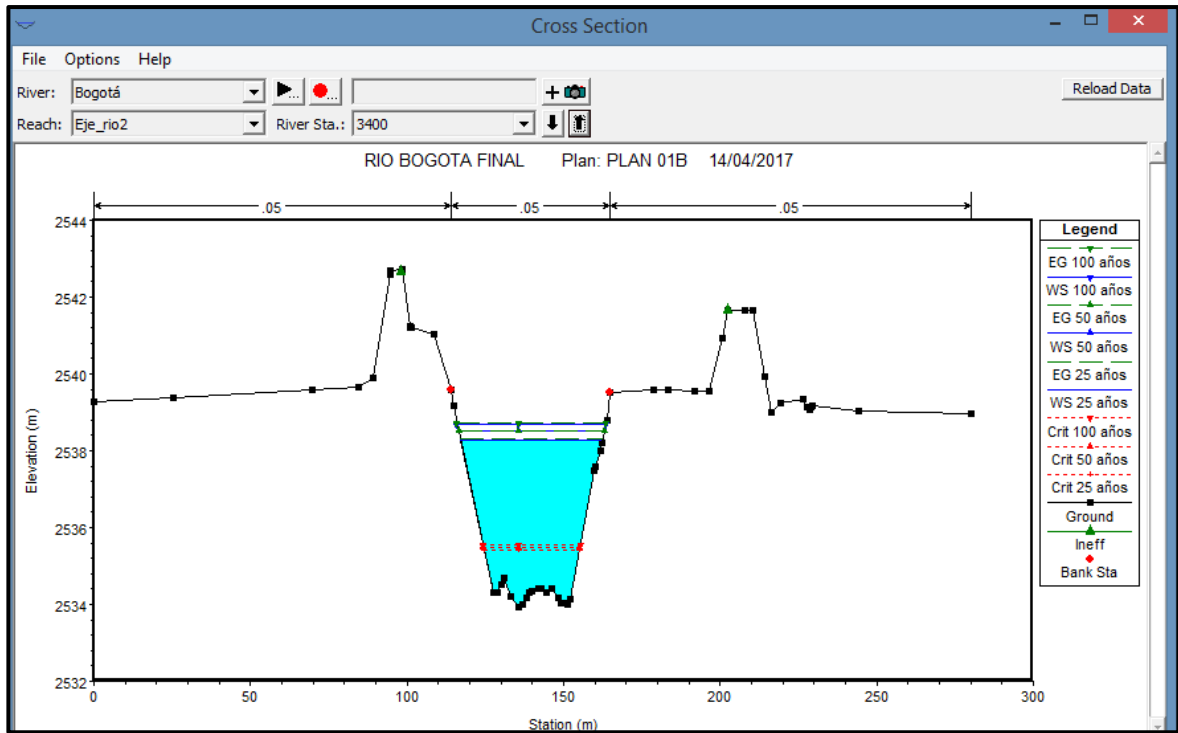
Fuente: Los autores

Figura 16. Resultado sección 0+600



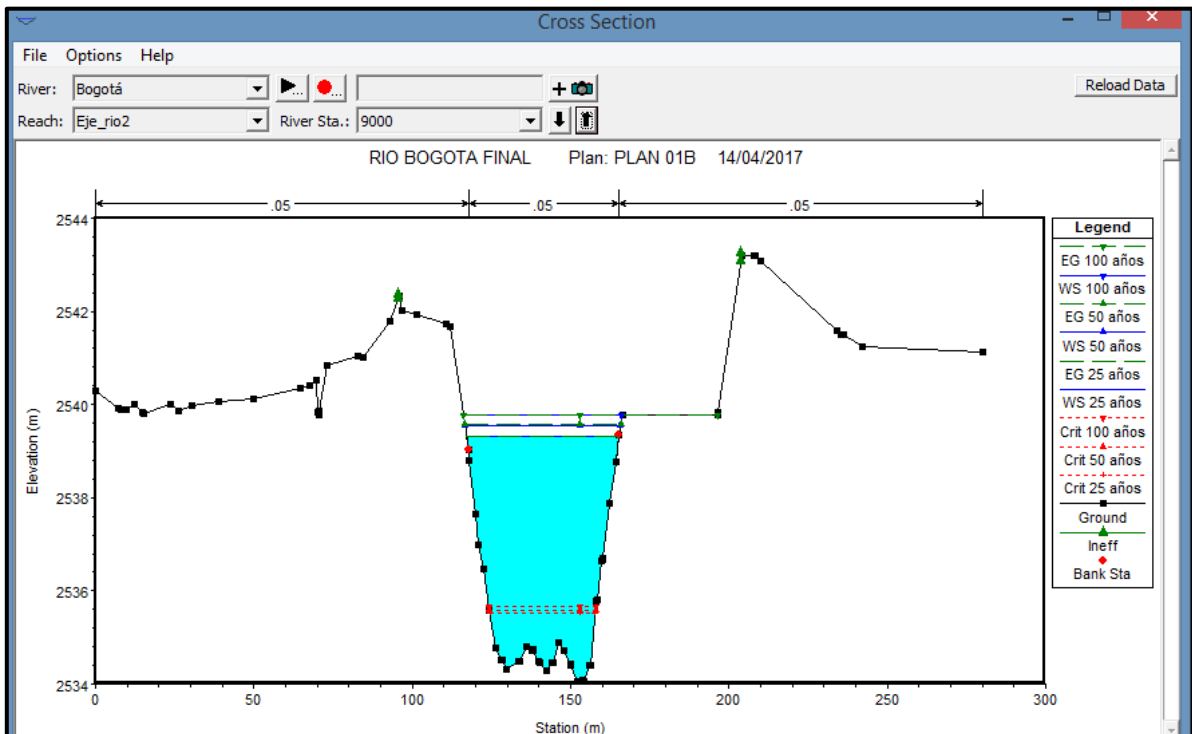
Fuente: Los autores

Figura 17. Resultado sección 3+400



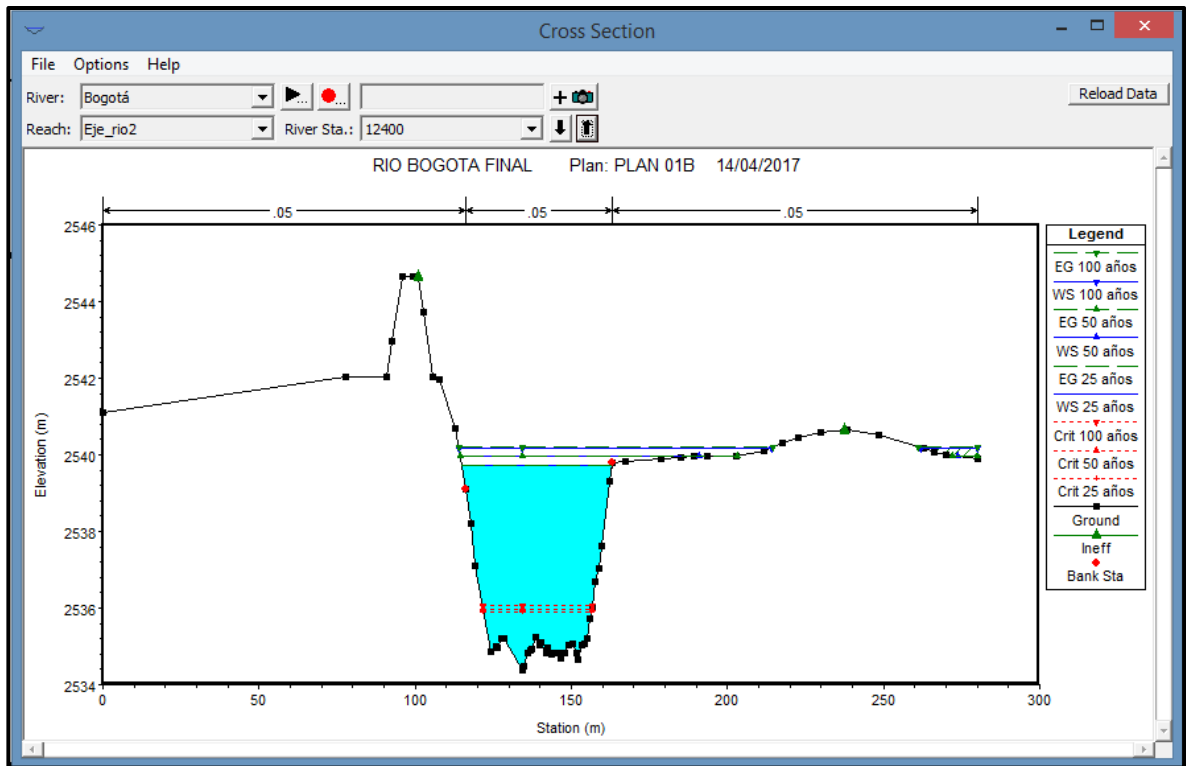
Fuente: Los autores

Figura 18. Resultado sección 9+000



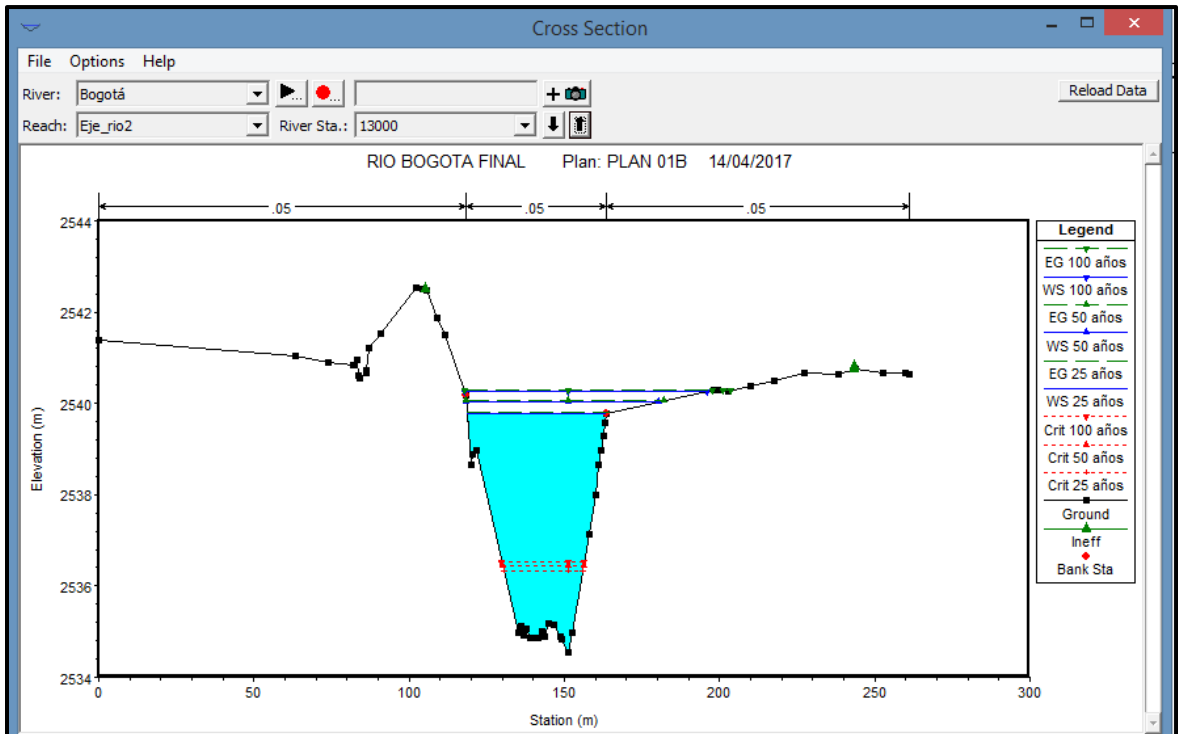
Fuente: Los autores

Figura 19. Resultado sección 12+400



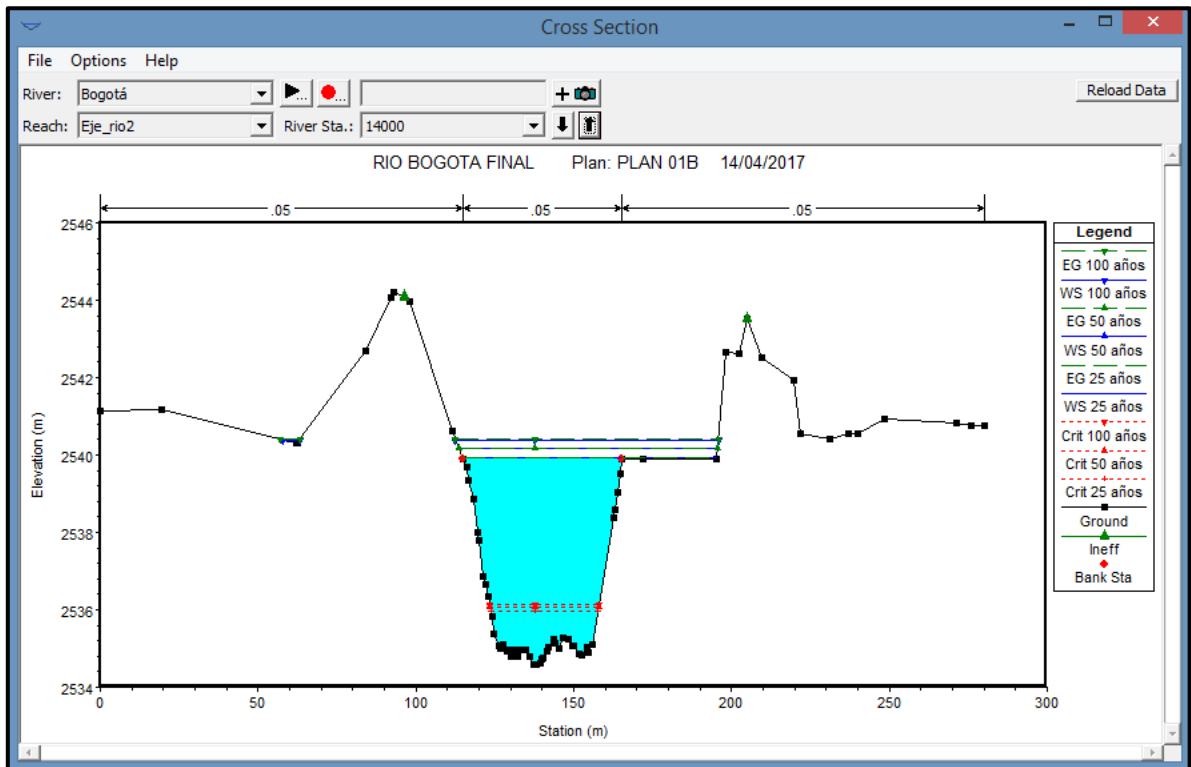
Fuente: Los autores

Figura 20. Resultado sección 13+000



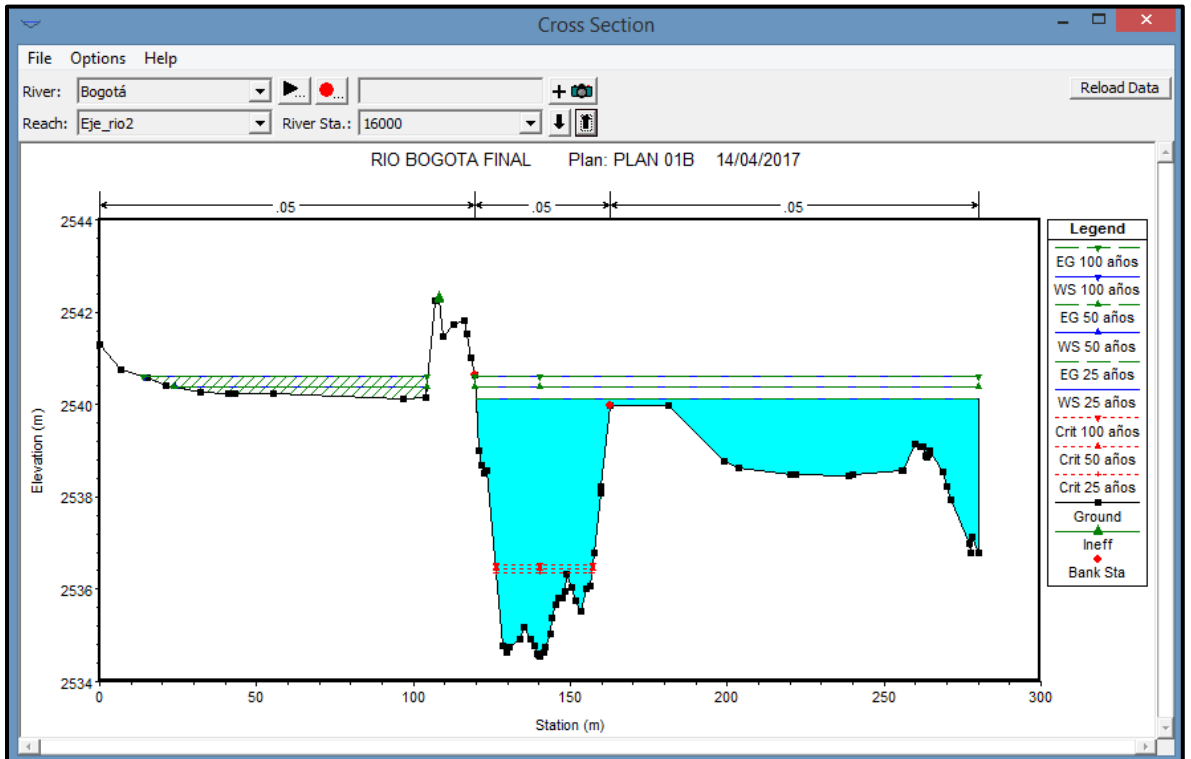
Fuente: Los autores

Figura 21. Resultado sección 14+000



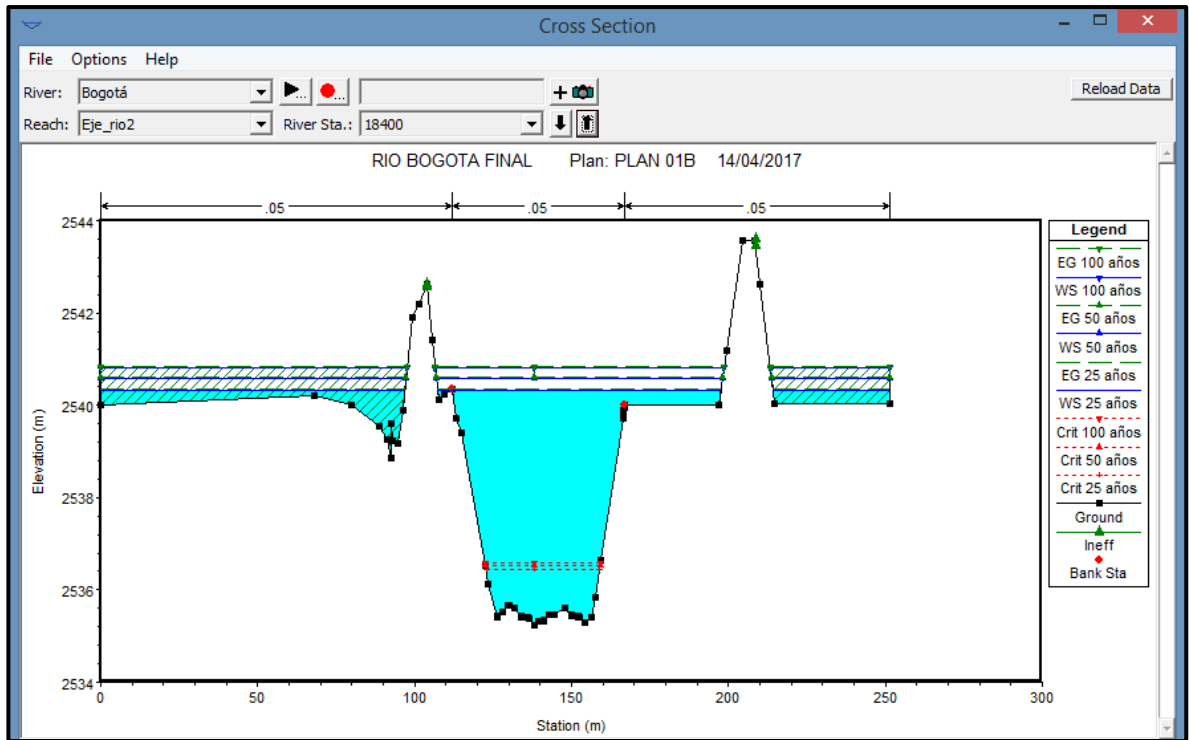
Fuente: Los autores

Figura 22. Resultado sección 16+000



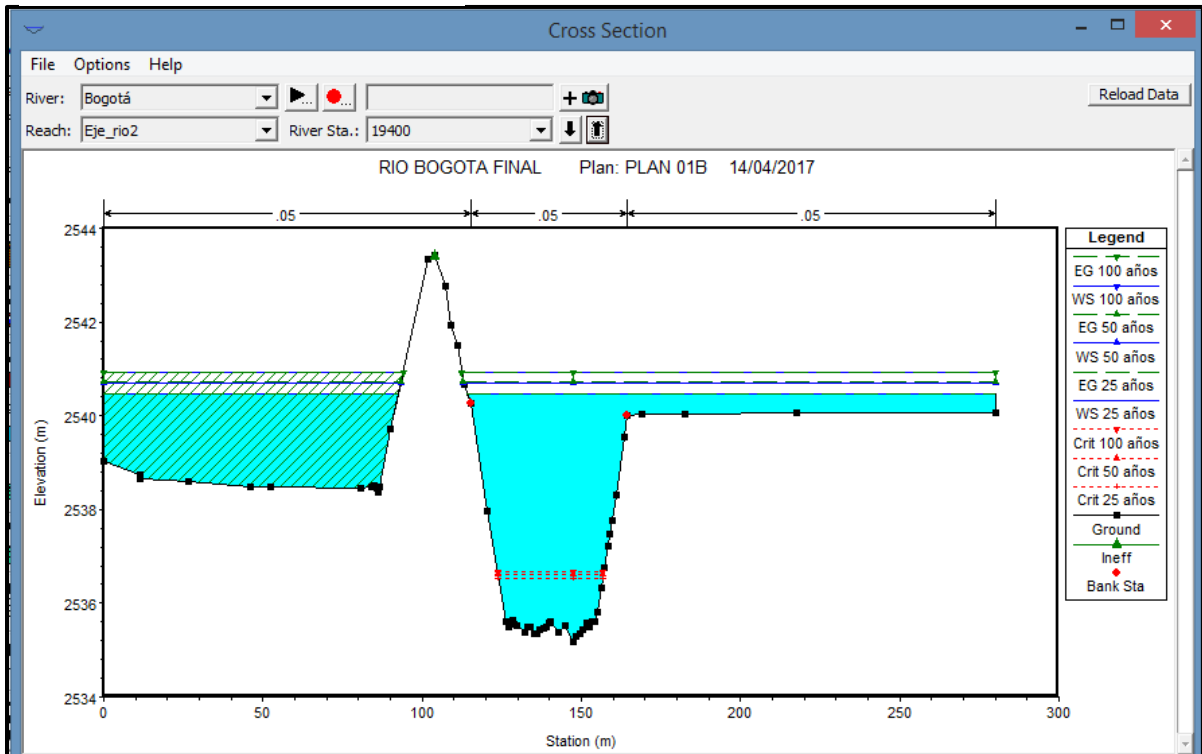
Fuente: Los autores

Figura 23. Resultado sección 18+400



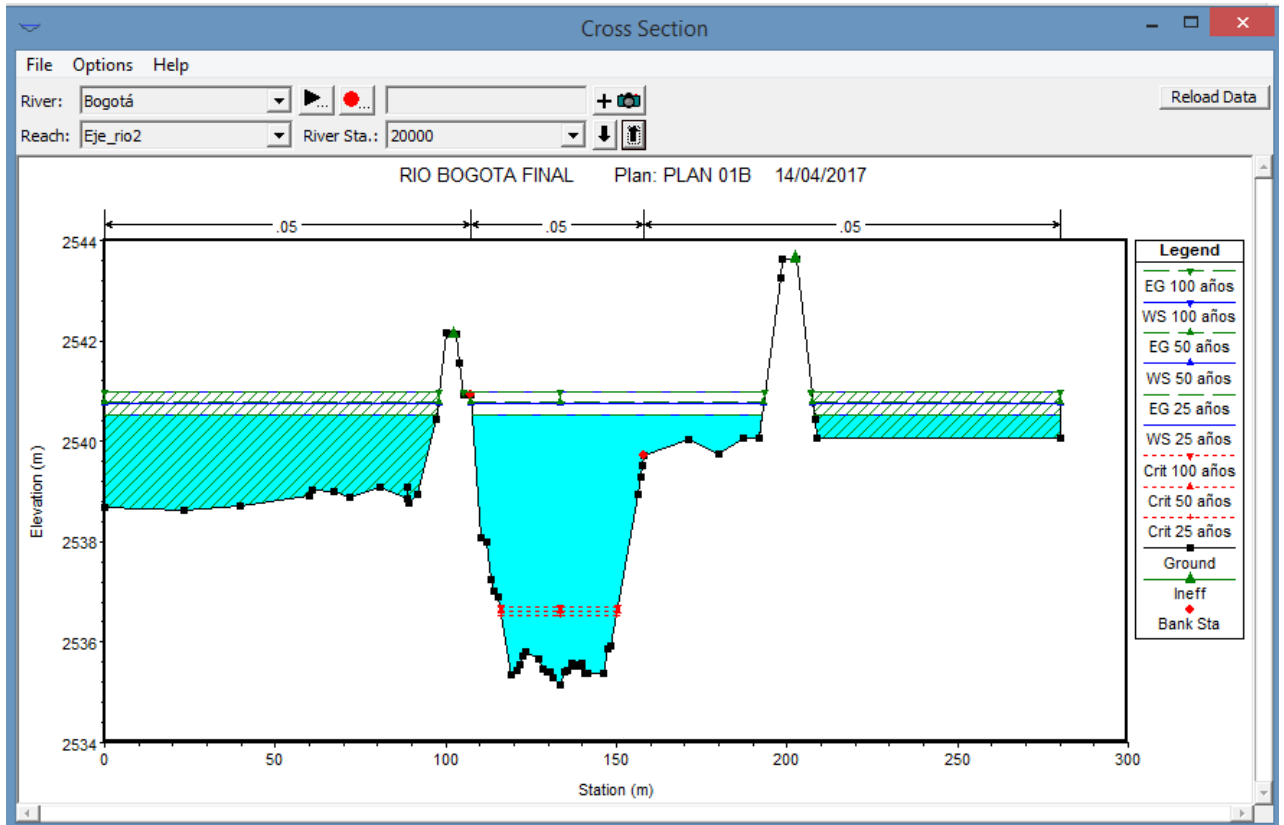
Fuente: Los autores

Figura 24. Resultado sección 19+400



Fuente: Los autores

Figura 25. Resultado sección 20+000



Fuente: Los autores

3 CONCLUSIONES

- Con relación al cumplimiento en los niveles de diseño de las adecuaciones hidráulicas ejecutadas, se determinó al realizar la comparación entre las 105 secciones del diseño original con el resultado final generado en CivilCAD 3D que 5 secciones experimentaron variaciones significativas en sus diseños originales, mientras que en 31 perfiles se pueden evidenciar variaciones en niveles y finalmente, en 69 de ellas no se poseen variaciones significativas.
- En cuanto a los sedimentos de fondo, se estableció a través del análisis en el software ArcGIS un volumen total de sedimentos de fondo removidos desde las compuertas de Alicachín hasta la desembocadura del río Tunjuelo de 1'181.800,83 m³, por tanto, durante los 22 meses de ejecución de este tramo se realizó un promedio de remoción de 644.618,64 m³/año.
- En lo que respecta con los sedimentos suspendidos, se puede concluir que por mes existirá un promedio general de 6.821,96 m³ de sedimentos en suspensión, siendo así que, se tendría un promedio acumulado de 81.863,52 m³/año.
- Considerando que los sedimentos en suspensión llegasen a depositarse en el fondo del canal, se puede determinar de acuerdo a los m³ SST/mes calculados, que en alrededor de 173 meses; cerca de 14.4 años, se aproximaría a igualar la cantidad de sedimentos removidos de fondo calculados por el software ArcGIS, es decir, una cantidad de 1'180.198,42 m³.
- Al estudiar el comportamiento de los procesos de suspensión de sedimentos, transporte y su posterior depósito, debe considerarse que no solo dependen de las condiciones del flujo sino también de las características del sedimento, así mismo como de factores de clima, tipo de suelo, vegetación y topografía.
- Una vez ejecutado el análisis de las 105 secciones transversales en el software HEC-RAS, se realizó el respectivo diagnóstico obteniendo que: en 101 secciones, las adecuaciones hidráulicas ejecutadas cumplieron en la simulación hidráulica.

Así mismo, 2 secciones; tanto la 12+400 como la 13+000 cumplieron, pero se generaron recomendaciones al presentar una posible tendencia al riesgo de zona de inundación.

Finalmente 2 secciones; tanto la 16+000 como la 19+400, no cumplieron en su totalidad en la simulación puesto que, se determinó inundación hacia la

margen derecha desde un periodo de retorno de 25 años, dado que se evidenció una carencia en la contención de tierra.

- Para mantener las condiciones de cumplimiento hidráulico en las secciones ejecutadas se debe ejecutar el repaso del dragado en el tramo de estudio en un tiempo menor a 14 años, puesto que las condiciones de depósito de sedimentos son variables de acuerdo a los diversos factores del entorno.

4 RECOMENDACIONES

- Aunque en la sección 12+400 se cumple con el diagnóstico hidráulico de las adecuaciones a un periodo de retorno de 100 años, se recomienda aumentar en la margen derecha el nivel puesto que puede ser una zona vulnerable a inundabilidad frente a crecientes atípicas del nivel de agua
- Si bien en la sección 13+000 se cumple con el diagnóstico hidráulico de las adecuaciones a un periodo de retorno de 100 años, se recomienda emplazar una contención en tierra puesto que puede ser una zona vulnerable a inundabilidad frente a crecientes atípicas del nivel de agua
- Se recomienda aumentar la contención en tierra hacia la margen derecha de la sección transversal 16+000 para evitar inundaciones a consecuencia de crecientes del río.
- Se recomienda emplazar una contención en tierra hacia la margen derecha de la sección transversal 19+400 para evitar inundaciones a consecuencia de crecientes del río.
- Se recomienda realizar un seguimiento a través de estudios hidrológicos e hidráulicos a la temática desarrollada puesto que se adecua con la especialización en Recursos hídricos de la Universidad Católica de Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR). Definición de adecuación hidráulica [en línea]. Bogotá: CAR. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=45547> >

DICCIONARIO DEFINICIÓN. Definición de diagnóstico [en línea]. Colombia: Diccionario definición. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://definicion.mx/diagnostico/>>

ELPAIS.COM. Revista Digital; Definición de jarillón [en línea]. Colombia: El Pais. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.elpais.com.co/elpais/especiales/jarillon-la-amenaza-silenciosa-de-cali> >

ELTIEMPO.COM. Lo que ordena el histórico fallo para salvar al río Bogotá [en línea]. Bogotá: El Tiempo (2014). [Citado 07 diciembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13747556>. Accedido en 2016-12-07.>

EMPRESA DE ACUEDUCTO, AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Proyecto Rio Tunjuelo [en línea]. Bogotá: EAAB. [Citado 08 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://eacennt09.acueducto.com.co:8085/?sGet&DI9ZTH1WXw15A3N6P31yZ3t2bH55DnoTCV9UcUsObgEAFqQFXQF2CRp5HwdzfQAEWQVxARsHHAQWLIpYHXITBUtSW1EWPWNQH0NeV0EOHwAEeBNTBFxSVk5eSg0AfwEFXwYS CmpDS1ZtMDc4LzMvMDBNNTUM> >

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. Definición de estructura de contención [en línea]. Bogotá: ECIJG (2013). [Citado 15 octubre, 2016]. Bogotá: 2013. Disponible en internet: <URL: <http://www.escuelaing.edu.co/> >

ESTEVEZ, José; RODRÍGUES, Paula Diseño geotécnico de jarillones. Bogotá: Universidad Javeriana, 2013.

GRUPO DE ANÁLISIS DE SITUACIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS (GAMA). Definición de Inundación [en línea]. Barcelona: GAMA. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.floodup.ub.edu/inundaciones/> >

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). Batimetrías [en línea]. Colombia: IDEAM. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetrías>>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). Definición de inundaciones [en línea]. Colombia: IDEAM. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion> >

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). Modelo hidrológico. [en línea]. Colombia: IDEAM. [Citado 13 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica> >

LEXICOON.ORG. Definición de batimetría [en línea]. España: Lexicoon.org. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://lexicoon.org/es/batimetria> >

LEXICOON.ORG. Definición de espolón [en línea]. España: Lexicoon.org. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://lexicoon.org/es/espolon> >

LEXICOON.ORG. Definición de mitigación [en línea]. España: Lexicoon.org. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://lexicoon.org/es/mitigacion> >

LEXICOON.ORG. Definición de socavación [en línea]. España: Lexicoon.org. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://lexicoon.org/es/socavacion> >

MONTOYA, L. Dinámica oceanográfica del Golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Disertación doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia, 2010.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Definición de nivel del río [en línea]. Colombia: OIN (1988). [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap10.pdf> >

PORTAFOLIO.CO. Así avanza el dragado Río Magdalena [en línea]. Colombia: Portafolio (2015). [Citado 13 noviembre, 2016]. Bogotá: 2015. Disponible en internet: <URL: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/avanza-dragado-rio-magdalena-38742> >

SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. Lineamientos generales para la gestión del riesgo en municipios estratégicos de la región [en línea]. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. [Citado 16 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/SeguimientoPolitic/politicaRuralidad/MetasPlanDesarrollo/Lineamientos_gestion_de_riesgo_region_entr egable3_V06-04.pdf >

SELVITECUM. Definición de áreas inefectivas [en línea]. España: Selvitecum. [Citado 18 marzo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://selvitecum.com/blog/tag/hec-ras/> >

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (2016). Definición de amenaza [en línea]. Colombia: UNGRD. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/> >

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (2016). Definición de mitigación del riesgo [en línea]. Colombia: UNGRD. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Glosario_Terminos_Gestion_del_Riesgo.aspx >

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (2016). Definición de vulnerabilidad [en línea]. Colombia: UNGRD. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Glosario_Terminos_Gestion_del_Riesgo.aspx >

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO. Definición de modelación [en línea]. Colombia: UTADDEO. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.utadeo.edu.co/es/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms> >

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO. Definición de simulación [en línea]. Colombia: UTADDEO. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.utadeo.edu.co/es/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms> >

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Precios de bolsacretos [en línea]. Cauca: Universidad del Cauca. [Citado 17 octubre, 2016]. Disponible en: internet: <URL: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/PAVCO.pd> >

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Medidas estructurales [en línea]. Cauca: Universidad del Cauca. [Citado 20 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/P_Proteccion%20contra%20Inundaciones.pdf>

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Revista digital Azimut: Proyecto Rio Tunjuelo [en línea]. Bogotá: UDFJC. [Citado 08 noviembre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut/article/view/4041/6076>>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). Definición de periodo de retorno [en línea]. Colombia: UNAD. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/leccion_29_analisis_de_datos.html>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Revista digital: 2008. Definición de sedimentos [en línea]. Pereira: UTP. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/3119/1671>

VILLAMIL, Robinson. Jarillones: Materiales de construcción para jarillones. Montería: Universidad del Sinú, 2013.

VISIÓN AGROECOLÓGICA (2011). Definición de desbordamiento [en línea]. México: Visión agroecológica. [Citado 29 mayo, 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://visionagroecologica.blogspot.com.co/2011/06/la-lluvia-y-el-desbordamiento-de-los.html>>

WIKIPEDIA.ORG. Definición de Dragados [en línea]. Colombia: Wikipedia.org. [Citado 15 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Dragado>>

WORLD BANK. Legislación colombiana sobre inundaciones [en línea]. Colombia: WORLKBANK. [Citado 14 octubre, 2016]. Disponible en internet: <URL: http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/ATTOH2UG_.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Secciones transversales diseño vs final

ANEXO B. Secciones transversales inicial vs final

ANEXO C. Mediciones parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Bogotá

ANEXO D. Reporte de mediciones de caudales

ANEXO E. Resultados secciones transversales HEC-RAS

ANEXO F. Resultados análisis hidráulico HEC-RAS.