

**REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL CANAL RÍO SALITRE ENTRE LA CALLE
72 Y LA CALLE 80**

CESAR AUGUSTO AVELLANEDA SUAREZ - 505521



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2020**

**REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL CANAL RÍO SALITRE ENTRE LA CALLE
72 Y LA CALLE 80**

CESAR AUGUSTO AVELLANEDA SUAREZ – 505521

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil**

**Docente Asesor:
ING. DIEGO ALEJANDRO PULGARIN MONTOYA**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2020**



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre Oscar Avellaneda, a quien amo mucho y es un gran ejemplo y figura para mí, quien ha pasado por muchas dificultades en su vida y aun así hoy en día ha llegado bastante lejos y es un gran Ingeniero. Gracias por todo el conocimiento, paciencia y amor que me has dado.

“Donde hay esperanza, hay vida. Nos llena de coraje fresco y nos hace fuertes de nuevo”

Ana Frank

AGRADECIMIENTOS

A esos profesores que he tenido a lo largo de mi carrera que me han colaborado, aconsejado y apoyado para ser un gran profesional, muchas gracias. Agradezco al Doctor Mauricio Gonzales y al Ingeniero Diego Pulgarín por su colaboración, acompañamiento, guía y tiempo.

A mis padres, Oscar Avellaneda y Martha Suarez por su colaboración, comprensión y apoyo incondicional en el transcurso de toda mi carrera, sin ellos esto no hubiese sido posible del todo, infinitas gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1 Descripción del problema	20
1.2.2 Formulación de problema.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.5 DELIMITACIÓN	24
1.5.1 Espacio	24
1.5.2 Tiempo	24
1.5.3 Contenido.....	24
1.5.4 Alcance	24
1.6 MARCO DE REFERENCIA	26
1.6.1 MARCO TEÓRICO.....	26
1.6.2 MARCO CONCEPTUAL	27
1.7 METODOLOGÍA	30

1.7.1	Tipo de Estudio	31
1.7.2	Revisión bibliográfica	31
1.7.3	Análisis de las problemáticas ambientales del canal río Salitre	31
1.7.4	Posibles alternativas de solución que puedan ser implementadas en el tramo de estudio en el canal río salitre	31
1.7.5	Evaluación del desempeño hidráulico del canal río Salitre	32
2.	PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES QUE SE PRESENTAN EN EL CANAL RÍO SALITRE EN EL TRAMO DE ESTUDIO.....	33
2.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA	33
2.2	CALIDAD DEL AIRE EN EL CANAL RÍO SALITRE	41
2.2.1	Material Particulado Menor a 10 Micras (PM10)	42
2.2.2	Monóxido de Carbono (CO)	43
2.2.3	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	44
2.2.4	Ozono Troposférico (O ₃).....	45
2.3	PERCEPCIÓN AMBIENTAL.....	46
3.	PROPUESTA DE UN CANAL URBANO VERDE PARA EL TRAMO EN ESTUDIO.....	50
3.1	Infraestructura urbana ecológica para el canal río Salitre.....	50
3.1.1	Espacios Verdes para el canal río Salitre.....	51
3.1.2	Espacios Azules para el canal río Salitre	55
3.1.3	Espacios Grises para el canal río Salitre.....	57
4.	DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO DEL CANAL RÍO SALITRE	59

4.1	TOPOGRAFÍA	59
4.2	MODELO DEL CANAL RÍO SALITRE EN HEC-RAS	63
4.2.1	Cálculo de caudales	65
4.2.2	Verificación del modelo en HEC-RAS	69
4.2.3	Resultados y análisis de resultados	74
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1	CONCLUSIONES	84
5.2	RECOMENDACIONES.....	85
	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXOS.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de desarrollo del proyecto.	30
Figura 2. Canal río Salitre durante un día de lluvia.	35
Figura 3. Canal río Salitre a unos metros de la intercepción con la calle 80.	36
Figura 4. Canal río Salitre cerca a la Calle 80.	37
Figura 5. Aliviadero del canal Salitre en la calle transversal 56a con calle 72	38
Figura 6. Canal río Salitre con desechos en sus orillas.	48
Figura 7. Trabajos de limpieza en el Canal río Salitre.	49
Figura 8. Propuesta de renovación urbana en el canal río Salitre.	51
Figura 9. Recubrimiento en Roca del canal río Salitre.	53
Figura 10. Render del proyecto Cheonggyecheon en el 2003.	53
Figura 11. Río de Los Ángeles, California, Estados Unidos (izquierda) y Canal río Salitre en la calle 78 con Transversal 56ª (derecha).	54
Figura 12. Renderización de la restauración del río en Los Ángeles	55
Figura 13. Áreas para biodiversidad de aves y vida acuática en el canal río Cheonggyecheon.	56
Figura 14. Plan parcial de renovación urbana proyecto NOA_propuesta urbana.	58
Figura 15. Tramo del Proyecto.	60
Figura 16. Marcación de deltas, armado y configuración de estación total.	61
Figura 17. Toma de datos con estación topográfica y prisma.	62
Figura 18. Toma de puntos en el canal Río Salitre cerca a la calle 80.	63

Figura 19. Alineación y secciones del canal río Salitre en HEC-RAS.	64
Figura 20. Geometría del canal río el Salitre entre calle 72 y calle 80 en 3D.	65
Figura 21. Curva intensidad duración frecuencia-IDF estación-OBS Metropolitana Nacional (Bogotá D.C.) Código: 2120523.	66
Figura 22. Área utilizada para el cálculo del caudal.	67
Figura 23. Caudales de análisis del modelo canal río Salitre en HEC-RAS.	69
Figura 24. Correntómetro o molinete	70
Figura 25 Aforo del canal río Salitre con correntómetro	71
Figura 26. Sección de verificación del modelo en HEC-RAS del canal río el Salitre.	73
Figura 27. Resultados de la sección de verificación.	74
Figura 28. Sección propuesta para el canal urbano verde río Salitre en la sección de estudio.	75
Figura 29. Modelación a 3 m ³ /s de la sección 120 del canal actual.	76
Figura 30. Modelación a 3 m ³ /s de la sección 120 del canal propuesto.	77
Figura 31. Velocidad de flujo a 3 m ³ /s en 200 metros del canal propuesto (naranja) y del canal actual (azul).	78
Figura 32. Modelación a 20 m ³ /s de la sección 800 del canal actual.	79
Figura 33. Canal río Salitre con nivel de agua casi completo de la sección revestida en el tramo de estudio.	80
Figura 34. Modelación a 20 m ³ /s de la sección 800 del canal propuesto.	81
Figura 35. Vista 3d del canal propuesto (izquierda) y canal actual (derecha) en el tramo de estudio del canal río Salitre.	82

Figura 36. Velocidades con caudales calculados del canal actual en el tramo de estudio.82

Figura 37. Velocidades del canal propuesto en el tramo de estudio.83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de descargas y volumen mensual de agua vertida por tramo para la cuenca del río Salitre en Bogotá.	39
Tabla 2. Promedios anuales de PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.	42
Tabla 3. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.....	43
Tabla 4. Promedios anuales de NO2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.	44
Tabla 5. Promedios anuales, excedencias norma de O3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.....	46
Tabla 6. Datos requeridos para el método racional	67
Tabla 7. Caudales por precipitación en el canal río Salitre entre calle 72 y calle 80.	68
Tabla 8. Datos y cálculos de Aforo por correntómetro, sección de verificación del modelo canal río Salitre.	72

INTRODUCCIÓN

La mayoría de grandes metrópolis iniciaron y crecieron junto a un río, grandes urbes como París con el río Sena, en California, Estados Unidos con el río Los Ángeles o Medellín, Colombia con el río Medellín. Con el paso de los años y el incremento de la industrialización y urbanización a lo largo y ancho de los ríos estas ciudades han ido creciendo teniendo que canalizarlos para poder controlar posibles inundaciones muchas veces.

Pero con el incremento de la urbanización e industrialización trajo grandes problemas a metrópolis como en Kitakyushu, Japón que creció justo al lado del río Murasaki y cuya contaminación fue terrible en los 60' por su desarrollo que tenía en este momento y no fue hasta el año 1988 que se inició la recuperación de este río.

En este trabajo se estudia el tramo entre la calle 72 y la calle 80 del río Salitre, el cual nace en los cerros Orientales con el nombre de río Arzobispo que está actualizado hasta el parque Nacional Enrique Olaya Herrera hasta la carrera 30 tomando después como nombre río Salitre hasta su cruce con la carrera 68 donde recibe el nombre de río Juan Amarillo hasta llegar al humedal Tibabuyes¹.

En los últimos años la mayoría de canales se han recubierto en concreto debido al incrementado riesgo de inundaciones, perdiendo el área permeable de estos y aumentando la escorrentía superficial y reduciendo el tiempo de concentración², además la necesidad de espacio se ha perdido junto a la biodiversidad alrededor de estos. Lo que no se ha hecho es ver estos canales con un enfoque diferente el cual pueda beneficiar a la ciudad y a sus habitantes. No es sino hasta hace unos años en Europa occidental que se reflexionó sobre cómo estos canales podrían mejorar la calidad de vida, la conservación biológica y las condiciones climáticas. En Italia y gran Bretaña

¹ SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Descripción y Contexto de las Cuencas Hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Bogotá D.C. 2015. Informe Técnico No. 01575, 01 de septiembre.

² I. Braud, *et al.* Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling. En: Journal of Hydrology. 2013. vol. 485, p. 1-4.

por ejemplo las zonas verdes son percibidas como un prerrequisito para la vida urbana³.

El canal río Salitre no es la excepción, este presenta problemas de acumulación de sedimentos, contaminación del agua y malos olores. Esto debido al mal manejo que se ha dado mezclando aguas lluvias con aguas residuales, además que en el año la mayor parte del nivel de agua es muy bajo para la sección de este⁴. Es posible que sea eficiente cuando se trate de prevenir inundaciones, pero ecológicamente este no tiene una natural filtración de agua, biodiversidad en la zona, entre otros factores.

Si la tasa actual de crecimiento se mantiene para el 2030, la cobertura urbana aumentara en 1.2 millones de Km², casi triplicando el territorio urbano global⁵. Esto significa que se requerirá para la restauración y protección de ríos en zonas urbanizadas un esfuerzo mayor y un pensamiento fuera de los enfoques basados en un canal funcional como se ha venido trabajando.

Es por esto que el objetivo de este proyecto es definir posibles soluciones desde unos lineamientos ambientales para la restauración del canal, donde este tenga más zonas urbanas verdes, así como también se aprovechen las que ya se encuentran con uso de infraestructura sostenible. Además, se evaluará el desempeño hidráulico del canal río Salitre entre la calle 72 y la calle 80 con el software de modelación HEC-RAS para analizar las velocidades del canal y compararlas con una sección propuesta que permita mejorar la velocidad para un mejor arrastre de los sedimentos.

³ SANDSTROM, Ulf G. Green Infrastructure Planning in Urban Sweden. En: Planning Practice & Research. 28 de Julio de 2013. vol. 17, No.4, p. 373-385.

⁴ REDACCIÓN EL TIEMPO. Recorrido por el río Salitre hizo la secretaria Distrital de Ambiente para verificar su estado [en línea]. Bogotá D.C. El Tiempo, 14, Julio, 2008. [Consultado: 20 de junio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4376415>.

⁵ SETO, Karen C. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. En: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2012. vol. 109, No.40, p. 16083-16088.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Hasta mediados del siglo XIX la cuenca del río Salitre permaneció como un paraje rural de grandes estancias, con la creación de barrios aledaños al río Salitre, y la llegada de fábricas en la mitad del siglo XIX produjo que esta parte de la ciudad se industrializase⁶.

La cuenca del Salitre tiene un área de drenaje de 13.964 hectáreas. Posee una longitud de cauce principal de 19,76 km y la pendiente media del cauce es de 3,32%. Su altura promedio es de 2.879 msnm, donde la cota máxima está por el orden de los 3.200 msnm y la mínima está sobre los 2.540 msnm aproximadamente. Este Río nace en los cerros orientales donde recibe el nombre de río Arzobispo, el cual es canalizado desde el Parque Nacional Enrique Olaya Herrera (carrera 7^a) hasta la carrera 30, siendo límite entre las localidades de Chapinero y Santa Fe. A partir de su cruce con la Avenida NQS se denomina Río Salitre hasta su cruce con la carrera 68, donde recibe el nombre de Río Juan Amarillo en referencia al humedal existente en esta parte de la ciudad (entre las localidades de Engativá y Suba), el cual sirve como cuerpo amortiguador natural de crecientes y cuya capacidad ha sido reducida por acción antrópica. El río finalmente desemboca en el río Bogotá en inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre⁷.

Las localidades Barrios Unidos, Suba y Engativá en donde pasa el río Salitre fueron grandes haciendas en la década del ochenta. Hacia 1920, inicio la urbanización de zonas aledañas al río Salitre, sucesos como el “Bogotazo”

⁶ DIMAS, Adrián Serna; *et al.* El Carmelo: Historia de una antigua barriada bogotana en la cuenca del río Arzobispo (1900-1934). *En:* Historia Critica. 2012. no 47, p. 161-186.

⁷ SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Descripción y Contexto de las Cuencas Hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Bogotá D.C. 2015. Informe Técnico No. 01575, 01 de septiembre.

hizo que hubiese una migración de personas a la zona noroccidental creando barrios obreros al sur y al occidente de la ciudad⁸.

Desde entonces las corrientes de la cuenca del río Salitre una vez entran en la ciudad, son eje del sistema de alcantarillado, por lo que pasa de ser una “cuenca hidrológica” como área de captación de agua lluvia y transporte pasa a un concepto de “cuenca de alcantarillado” o área de captación y transporte mediante un conjunto de elementos artificiales o sistema de alcantarillado⁹.

Este cambio de concepto que recibe el río salitre ha sido debido a la urbanización que ha sucedido en las últimas décadas. La urbanización ha llevado a significativas modificaciones de las cuencas con la construcción de vías, canaletas y tuberías, construcción de canales, los cuales tienen una conexión con la red de agua potable y alcantarillado. En otros países ya han tomado la iniciativa de recuperar sus cuencas, algunos ejemplos de proyectos que se han realizado son:

- El río Cheonggyecheon en el centro de Seúl (Corea del Sur), estaba cubierto por 6 kilómetros y 50-80m de carretera, con 5.86km y 16m de ancho, una avenida elevada pasaba sobre el camino y 11km del sistema de alcantarillado de intercepción debajo de la carretera.

El Cheonggyecheon fue restaurado como un cause urbano natural¹⁰, un espacio amigable con el ambiente y las personas con un paseo marítimo y paseos a lo largo de la sección del canal. Para el diseño se tuvo en consideración la incidencia de inundaciones y el gran volumen de lluvias que hay en el verano, es por esto que se construyeron terraplenes que puedan soportar la peor inundación posible que se espera que ocurra cada

⁸ SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. Monografías de localidades-No.12 Barrios Unidos. Bogotá D.C. Septiembre, 2018.

⁹ PÉREZ, David Felipe, *et al.* Informe Técnico: Descripción Y Contexto De Las Cuencas Del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha Y Tunjuelo). Bogotá D.C: Secretaria Distrital de Ambiente; 2015. Informe Técnico No. 01575.

¹⁰ HWANG, Kee Yeon. Restoring Cheonggyecheon Stream in the Downtown Seoul. *En:* Seoul Development Institue. 2004. vol.1.

200 años. Además de la restauración del canal, la calidad de agua de este ha mejorado, se han construido una cantidad mínima de puentes con el objetivo de permitir el flujo de agua en períodos de lluvia fuerte, y algunas estructuras fueron construidas con el objetivo de prevenir que agua sucia fluya en temporadas de lluvia intensa.

- Los cuatro principales ríos en Corea del Sur son el río Han, el río Nakgon, el río Yeongsan y el río Geum. La restauración abarca alrededor de 700 Km de los principales canales y algunos de sus afluentes. En los últimos 10 años Corea estaba perdiendo alrededor de £600 millones de libras por inundaciones. En respuesta a esto se ha invertido alrededor de £1 billón al año en protección contra inundaciones según el KNEMA (Korea National Emergency Management Agency)¹¹.

Según el artículo presentado por Shin¹², La calidad del agua en algunas partes del río no es muy buena para trabajo agrícola o actividades industriales, se ha invertido alrededor de £0.7 billones para el mejoramiento de la calidad del agua, para esto se ha implementado varios tipos de mejoras en el tratamiento del agua, como la mejora de plantas de tratamiento, 241 procesos de tratamiento con fosforo en plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, entre otros.

La restauración inicialmente comenzó con la remoción 6 kilómetros de avenida, el cual se completó en el 2005. Dentro del plan de restauración que fue publicado en el 2009, está la construcción de 16 compuertas de 300-600 metros de largo y 4-12 metros de altas. Estas estarán compuestas por puestas de solapa y puertas elevadas, las presas son importantes para el almacenamiento y control de inundaciones, además dispondrán de una capacidad de generar 278 GW ya que incluirán una pequeña planta hidroeléctrica además que contarán con puentes peatonales como pasos

¹¹ SHIN, Jong Ho, *et al.* The four major rivers restoration project in South Korea. En: Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering. Febrero, 2011. vol. 164, p. 19-26.

¹² *Ibid.*, p. 21 & 23.

para los peces, esto ayudo mucho en el proyecto para el control de inundaciones¹³.

Por otra parte, en el canal se hará una restauración ecológica a las orillas de los ríos, refuerzo a los terraplenes y construcción de ciclovías. La biodiversidad por su puesto se tiene en cuenta en el proceso de construcción de este, así como al terminar por ejemplo se realizarán piscinas en las presas para el cruce de los peses, también se incluye la construcción de humedales, un gran puente peatonal y una piscina¹⁴.

¹³ Ibid., p. 23.

¹⁴ Ibid., p. 23.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

En las últimas décadas con la rápida urbanización los canales han sido revestidos en concreto con el propósito de evitar inundaciones, pero esto ha traído algunos problemas como lo dice Bae¹⁵, se han destruido las áreas permeables alrededor de los canales, se han degradado los ecosistemas y se han perdido zonas que pueden ser utilizadas para actividades recreacionales.

Se creyó que dándole la solución de revestir los canales en concreto sería una solución definitiva y suficiente para evitar inundaciones sin tener en cuenta factores ambientales, como ha dicho Wheeler et al¹⁶, con la urbanización se ha incrementado el riesgo de inundación en los canales debido a la pérdida de humedales, cambio de vegetación por superficies impermeables y construcción en zonas de inundación.

El canal río Salitre es una infraestructura gris que carece de zonas que permitan involucrar a la comunidad, junto a esto presenta problemas de malos olores, acumulación de basuras y sedimentación de sus aguas.

Un recorrido que realizó la secretaría distrital de ambiente y que se publicó en la página web del periódico El Tiempo¹⁷, identificaron que la en la zona entre ríos y calle 80 el cual es uno de los sectores críticos, las bajas pendientes del Salitre ocasionan que la velocidad se disminuya drásticamente, generando problemas de sedimentación y descomposición orgánica. A la altura de la avenida 68 disminuye aún más la velocidad del río, debido a su carga

¹⁵ BAE, Hyunhoe. Urban stream restoration in Korea: Design considerations and residents' willingness to pay. En: Urban Forestry & Urban Greening, 2011. vol. 10, p. 119-126.

¹⁶ WHEATER, Howard, *et al.* Land use, water management and future flood risk. En: Land Use Policy, 2009. vol. 26, p. 251-264.

¹⁷ REDACCIÓN EL TIEMPO. Recorrido por el río Salitre hizo la secretaría Distrital de Ambiente para verificar su estado [en línea]. Bogotá D.C. El Tiempo, 14, Julio, 2008. [Consultado: 20 de junio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4376415>.

contaminante. No es sino hasta el humedal Juan Amarillo que se alcanza a evidenciar avifauna como garzas y lechuzas.

Teniendo en cuenta que el canal río Salitre ha sido revestido en concreto y presenta los problemas ya mencionados, el propósito de este trabajo de investigación consiste en proponer unas alternativas para la rehabilitación del canal y evaluar una parte del canal que es donde este problema se logra evidenciar más, en este caso entre la calle 72 y la calle 80, mediante un modelo que nos pueda decir si las propuestas podrían ayudar a mejorar el desempeño del canal.

1.2.2 Formulación de problema

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación se busca investigar sobre: ¿Cuáles son las oportunidades y desafíos en la restauración del Canal río Salitre?

1.3 OBJETIVOS

Para el presente proyecto se plantean los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo general

Proponer lineamientos ambientales para la Rehabilitación del Canal río Salitre entre el tramo comprendido entre la calle 72 y la calle 80.

1.3.2 Objetivos específicos

Se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las problemáticas ambientales que tiene el canal río Salitre entre la calle 72 y la calle 80.
- Proponer posibles alternativas de solución que puedan ser implementadas en el canal río Salitre entre el tramo comprendido entre la calle 72 y la calle 80.
- Evaluar el desempeño hidráulico del canal río Salitre a través de un software de modelación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo busca proponer posibles alternativas para la rehabilitación del canal río salitre donde se pueda aprovechar el área y poder usar infraestructura verde como mecanismo para aumentar el porcentaje de área verde que se cuenta en la ciudad y así ayudar con fenómenos como el calentamiento global, además que el canal pueda tener un enfoque más holístico y la comunidad pueda también ser incluida en el proyecto para que las zonas a lo largo del canal puedan ser aprovechadas.

Por medio de un modelo que se desarrollará en un software de modelación nos permitirá analizar si la propuesta que se estará planteando tendrá un impacto positivo en el desempeño hidráulico del canal. El impacto que tiene este trabajo es positivo ya que no se ha trabajado en la rehabilitación de un canal aun en Bogotá, específicamente en el canal río Salitre que puede llegar hacer aprovechado para mejorar la calidad de vida de la comunidad además de tener un impacto positivo ambientalmente.

La viabilidad del proyecto también requerirá de estudios que no contendrá este trabajo de investigación pero que podrían desarrollarse en futuras investigaciones, este se enfocara en una propuesta física que incluya los elementos necesarios para que el canal tenga un concepto de canal urbano verde. El desarrollo de este proyecto deja planteadas propuestas para la rehabilitación de canales además de enfatizar la importancia que estos tienen originalmente para la sociedad y de cómo pueden aprovecharse de manera positiva y deja abierto un campo en el cual se pueden desarrollar diferentes investigaciones relacionando temáticas que un ingeniero civil debe manejar.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio

Para la elaboración del documento, modelo e imágenes que requieran algún software como AutoCAD, se hará uso de las salas de sistemas de la Universidad Católica de Colombia.

1.5.2 Tiempo

Se tiene planteado para el desarrollo de las propuestas y modelo junto con la comprobación de este un tiempo de aproximadamente cuatro (4) meses, esto tendría que estar finalizado para el mes de octubre.

1.5.3 Contenido

La propuesta que se presenta en el documento se desarrolla especialmente enfocado en el análisis del canal río Salitre, pero las ideas se pueden aplicar en otros ríos que fueron alterados para ser canalizados en material como concreto y analizar las diferentes problemáticas que se tienen en el canal en el tramo de estudio.

Para el desarrollo del modelo en HEC-RAS se desarrollará una topografía del canal para posteriormente poder introducir la información al software. La topografía se llevará acabo con equipos que no pertenecen a la universidad y este proceso será total mente financiado por el autor.

1.5.4 Alcance

El Alcance del proyecto se desarrollará para el canal río Salitre en una de las zonas más críticas de este, específicamente entre la calle 72 y la calle 80, en donde se planteará una propuesta de gestión ambiental en donde se darán posibles soluciones para la rehabilitación del canal,, la implementación de infraestructura verde, mecanismos para mejorar la calidad de agua y propuestas de corredores verdes, con el uso de unos lineamientos de gestión ambiental con una perspectiva más holística donde exista una relación sociedad-naturaleza con ayuda de proyectos que ya se han ejecutado en otros países que serían una guía para el desarrollo de este proyecto.

Por otra parte, se desarrollará un modelo en HEC-RAS que permitirá obtener velocidades, caudales y poder llegar hacer una comparación con una propuesta donde cambien algunas características del canal. Se especificará y justificará los datos que lleguen a ser usados y asumidos para el modelo.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

El marco de referencia contiene el marco teórico y el marco conceptual del presente trabajo de grado.

1.6.1 MARCO TEÓRICO

Infraestructura Verde: Antes de mencionar una definición es importante aclarar que infraestructura verde se ha llegado a confundir con espacios como parques, espacios abiertos y corredores verdes. La diferencia es que cuando se habla de infraestructura verde se habla de espacios multifuncionales¹⁸. Una buena definición para interpretar mejor lo que es la infraestructura verde sería¹⁹:

“Green Infrastructure is a network of multi-functional greenspace, provided across the Sub-Region. It is set within, and contributes to, a high quality natural and built environment and is required to deliver “liveability” for new communities”.

“La infraestructura verde es una red multifuncional de espacios verdes, que se provee en toda una subregión. Está ubicado dentro, contribuye a un entorno natural de alta calidad y construido en un ambiente necesario para brindar “habitabilidad” a las nuevas comunidades”.

El concepto de infraestructura verde ha sido utilizado para mejorar el concepto de sistemas de espacios urbanos verdes, el cual en este solo se consideraban parques y zonas verdes. Pero concepto puede diferir del contexto en el que se use, en ingeniería se ha usado para definir estructuras de tratamiento de agua o techos verdes. Una buena definición más amplia para complementar lo que es infraestructura verde y que aplica muy bien a lo que se desea en este

¹⁸ LOCKHART, John. Green Infrastructure: The Strategic Role of Trees, Woodlands and Forestry. En: Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry. Marzo, 2009. vol. 32, p. 33-49.

¹⁹ Anonimo. Planning Sustainable Communities. Milton Keynes & South Midlands Enviromental Quality of Life Sub-Group. Citado en: LOCKHART, John. Green Infrastructure: The Strategic Role of Trees, Woodlands and Forestry. En: Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry. Marzo, 2009. vol. 32, p. 34.

proyecto es la de Benedict & McMahon²⁰, donde la infraestructura verde refiere a la interconexión de una red de áreas naturales y espacios abiertos que conservan la funcionalidad y valor de un ecosistema natural, proveyendo de enormes beneficios como aire y agua limpia, y también beneficios a las personas y a la vida silvestre. La infraestructura verde es una red interconectada de espacios verdes junto lo que denominaremos espacios azules que son ríos y humedales, y con construcciones hechas por el hombre que se dominaran espacios grises. La infraestructura verde ayuda a un crecimiento futuro que permita ayudar en la conservación de la tierra y conservación de activos y recursos naturales y que las personas sigan interactuando con estos.

1.6.2 MARCO CONCEPTUAL

Aforo: Es el conjunto de actividades hidrométricas conducentes a la determinación del caudal de una corriente de agua por medio de diferentes actividades hidrométricas como, levantamiento del perfil transversal de la sección de aforo y velocidades del flujo en distintos puntos de la sección transversal²¹.

Biodiversidad: Es la variedad y variabilidad dentro y entre poblaciones vivas, y en los ecosistemas en los que ocurren; un gradiente que incluye genes, especies, ecosistemas y paisajes²².

Corredor: Un segmento de tierra estrecho o lineal que difiere de la matriz en cada lado; pueden servir como corredores de conexión biológicos y / o

²⁰ MCMAHON, Edward T. y Benedict, Mark A. Green infrastructure: linking landscapes and communities. Washington.: Island Press, 2006. 279 p. ISBN 1-59726-027-4.

²¹ MARBELLO PÉREZ, Ramiro Vicente. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 320 p.

²² MCMAHON, Edward T. y Benedict, Mark A. Green infrastructure: linking landscapes and communities. Washington.: Island Press, 2006. 279 p. ISBN 1-59726-027-4.

hidrológicos y / o proporcionar oportunidades recreativas al aire libre basadas en recursos²³.

Desarrollo sostenible: La definición más usada fue la propuesta por la comisión de Brundtland, en donde la definen como una relación a largo tiempo de estabilidad entre economía y medioambiente, esto solo se logra con la integración y el reconocimiento de preocupaciones económicas, ambientales y sociales²⁴.

Infraestructura gris: Sistemas hechos por el hombre para ayudar a las comunidades, incluidas carreteras y otros sistemas de transporte, sistemas de gestión de aguas pluviales y servicios públicos²⁵.

Ingeniería sustentable: se define como el diseño de sistemas humanos e industriales que aseguren que el uso que hace la humanidad de los recursos y los ciclos naturales no lleven a disminuir la calidad de vida por causa de la pérdida de futuras oportunidades económicas, o bien por el impacto adverso en las condiciones sociales, la salud humana y el medio ambiente²⁶.

Red ecológica: Un sistema de elementos naturales para conservar los ecosistemas y paisajes nativos, restaurar la conectividad entre los sistemas y procesos ecológicos nativos y mantener la capacidad de los ecosistemas y paisajes nativos para funcionar como sistemas dinámicos y permitir que la

²³ Ibid., p. 280.

²⁴ HWANG, Kee Yeon. Restoring Cheonggyecheon Stream in the Downtown Seoul. En: Seoul Development Institute. 2004. vol.1.

²⁵ MCMAHON, Edward T. y Benedict, Mark A. Green infrastructure: linking landscapes and communities. Washington.: Island Press, 2006. 279 p. ISBN 1-59726-027-4.

²⁶ Li, Feng, Liu, Xusheng, Zhang, Xiaoling, Zhao, Dan, Liu, Hongxiao, Zhou, Chuanbin, Wang, Rusong. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. En: Journal of Cleaner Production. Febrero, 2016. vol. 163, p. 12-18.

biota se adapte a los cambios ambientales futuros; también conocido como red de reserva²⁷.

Riesgo ambiental: Es el riesgo de exposición resultante de la exposición a un peligro ambiental potencial. Los peligros ambientales pueden ser químicos específicos o mezclas químicas como el humo del tabaquismo pasivo y el del escape de automóviles. También puede haber otros peligros como gérmenes patógenos, el agotamiento del ozono estratosférico, el cambio climático y la escasez de agua.

Las relaciones entre el riesgo, el peligro y la exposición son en extremo importantes debido a que los métodos actuales para proteger la salud humana y el medio ambiente están estrechamente ligados con el paradigma de riesgo y dependen casi en exclusiva en el control de la exposición. La química y la ingeniería verde son métodos para reducir el peligro a cero²⁸.

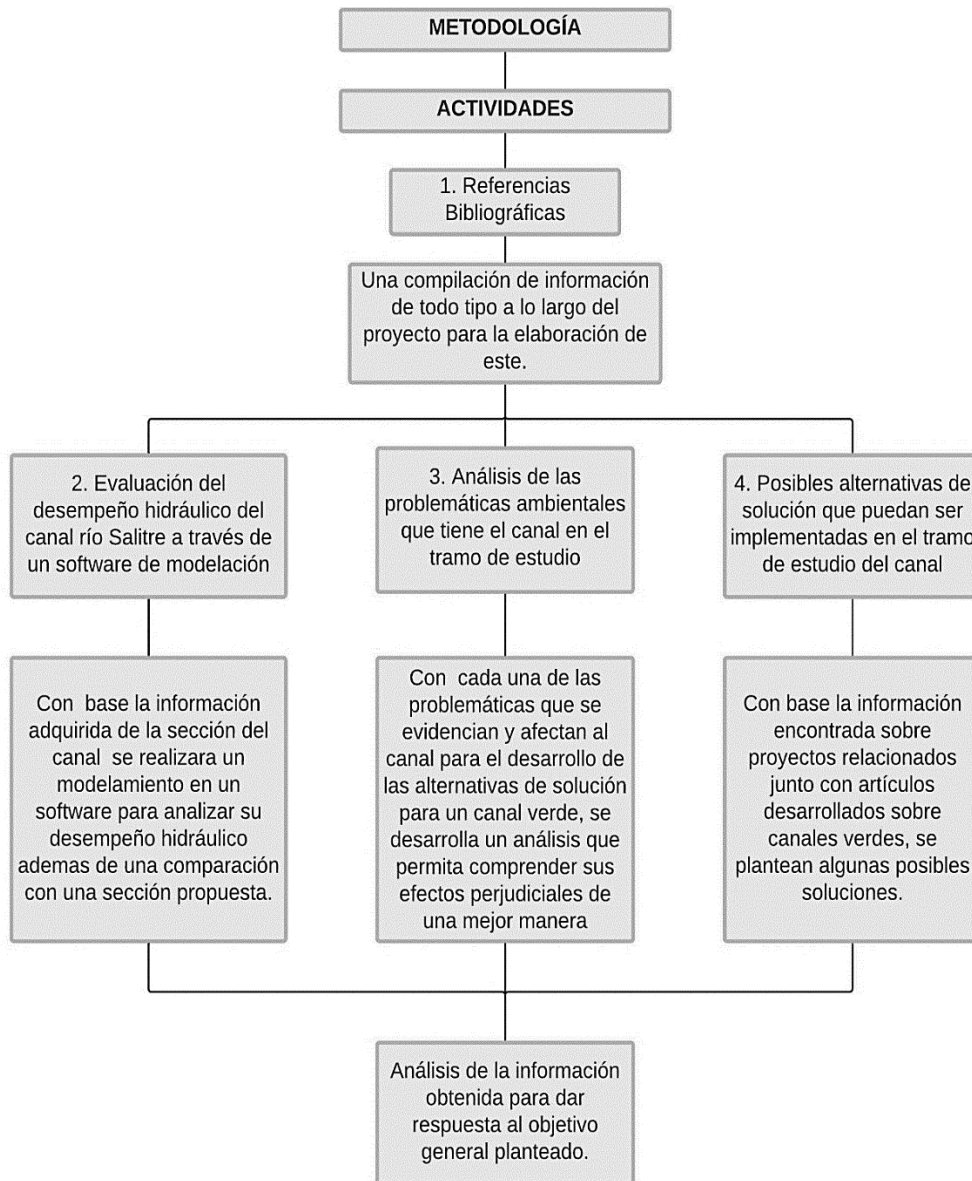
²⁷ MCMAHON, Edward T. y Benedict, Mark A. Green infrastructure: linking landscapes and communities. Washington.: Island Press, 2006. 279 p. ISBN 1-59726-027-4.

²⁸ NIENHUIS, P.H., y LEUVEN, R.S.E.W., River restoration and flood protection: controversy or synergism? En: Hydrobiologia 444. 2001. p. 85-99.

1.7 METODOLOGÍA

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos generales y específicos trazados anteriormente se plantea la siguiente metodología:

Figura 1. Metodología de desarrollo del proyecto.



Fuente: Autor

1.7.1 Tipo de Estudio

El presente documento es un trabajo de investigación en el cual se busca hacer un análisis de los problemas que tiene el canal río salitre, para proponer unas soluciones que permitan llevarlo hacer más holístico, es decir donde las personas y la fauna sean nuevamente incluidas como naturalmente lo fue, convirtiendo una estructura gris sin aprovechamiento de sus espacios a una más verde, junto con un análisis de su capacidad hidráulica para al final proponer mejoras para lograr el objetivo de que sea un canal urbano verde.

1.7.2 Revisión bibliográfica

Durante la realización del proyecto se utilizarán recursos bibliográficos tales como, artículos científicos, libros, base de datos, tesis, entre otros. Además, se considerará información previa que se haya registrado acerca de la condición del canal río Salitre. Es importante aclarar que una de las limitaciones que se encuentran para el proyecto es la poca información de proyectos relacionados nacionalmente, confidencialidad de información, la falta de documentación o investigaciones sobre rehabilitación o restauración de canales en Colombia.

1.7.3 Análisis de las problemáticas ambientales del canal río Salitre

En este apartado lo que se buscara es demostrar y analizar como los problemas ambientales que se presentan en el canal afectan a su funcionamiento y esto eventualmente a la comunidad y a la fauna. Esto se hará con información que se haya registrado previamente de entidades oficiales sobre algunos factores ambientales junto con recursos bibliográficos.

1.7.4 Posibles alternativas de solución que puedan ser implementadas en el tramo de estudio en el canal río salitre

Para llevar a cabo la rehabilitación ambiental del canal río salitre se propondrán algunas soluciones en el tramo de estudio, algunas de estas alternativas de solución se basan en proyectos realizados en otros países como en corea del sur con el canal Cheonggyecheon donde decidieron realizar una rehabilitación de este. Junto con artículos de investigación relacionados a la rehabilitación ambiental de canales se plantearán diferentes propuestas en

espacios verdes, azules y grises con el fin de convertir la estructura en un canal urbano verde, algunas de estas propuestas serán justificadas de investigaciones realizadas en otros proyectos y se describirán como estas generan un impacto positivo junto con su funcionalidad para el objetivo que es un canal urbano verde.

1.7.5 Evaluación del desempeño hidráulico del canal río Salitre

Para el desarrollo de este proceso será inicialmente realizar una topografía de la sección que se desea analizar e igualmente revisar si se encuentra algún tipo de información sobre las secciones de este canal exactamente en el tramo de estudio. Una limitante para la esta gestión es la contaminación del agua que presente el canal río salitre junto con el nivel de agua que en este haya.

Luego se realizará a través de un software de modelación, en este caso en el programa HEC-RAS, una modelación con la topografía obtenida donde se introducirán unos caudales previamente calculados para hacer un análisis de sus velocidades y posteriormente llegar a comparar con una sección propuesta que se hace. Con esta comparación podremos analizar si esto ayudaría positivamente para la rehabilitación que se busca hacer al canal.

2. PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES QUE SE PRESENTAN EN EL CANAL RÍO SALITRE EN EL TRAMO DE ESTUDIO

Luego de la canalización del río Salitre y en donde la empresa del Acueducto por el acuerdo No. 105 de 1995 paso hacerlo de alcantarillado, el canal ha presentado varios problemas en donde los más afectados han sido la comunidad que reside a lo largo del canal río Salitre.

Uno de los problemas que están asociados al aumento del nivel en el canal e incluso en problemas de inundación, son los sedimentos que son arrastrados con el flujo de escorrentía, principalmente los que llegan hasta el canal. Estos sedimentos se depositan muchas veces lo cual llevan a ocasionar grandes problemas en su funcionamiento como la disminución de la capacidad hidráulica, agravando aún más los problemas de flujo superficial.

Junto a esto se presenta el problema de malos olores producto de la combinación de aguas lluvias y aguas residuales, en algunas ocasiones causadas por conexiones erradas. Este ha sido uno de los mayores problemas para la comunidad, sobre todo en periodos de sequía. Además de los malos olores debido a la contaminación por aguas residuales, cabe decir que debido a esto no es posible para ningún animal acuífero subsistir en este tipo de ecosistema.

El canal río Salitre, es un buen ejemplo de lo que es una infraestructura gris o construcción tradicional, demuestra no ser agradable para la comunidad y tampoco habitable para alguna especie que suele estar en los ríos que no han sido canalizados en Bogotá. Incluso algunas personas ven el canal un lugar en donde pueden arrojar basura u otra clase de desechos, más no como un afluente que puede recuperarse y traer beneficios a la ciudad.

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Uno de los problemas que está asociado al aumento del nivel en el canal e incluso en problemas de inundación son los sedimentos que son arrastrados con el flujo de escorrentía, principalmente los que llegan hasta el canal. Estos sedimentos se depositan muchas veces, lo cual llevan a ocasionar grandes

problemas en el funcionamiento del canal como la disminución de la capacidad hidráulica, agravando aún más los problemas de flujo superficial.

Los sedimentos algunas veces se llegan a combinar con partículas de metales pesados, subproductos de petróleo y pesticidas. Cuando se está en temporada de lluvia muchos de estos son transportados y depositados en el río.

La solución parcial que le ha dado el Acueducto es un mantenimiento periódico del canal para garantizar el correcto funcionamiento, según un reporte realizado por el periódico El Tiempo ²⁹, desde febrero de 2012 hasta septiembre de este mismo año se realizó la limpieza de 9 mil metros del Canal Salitre y 4 mil del Juan Amarillo en donde se extrajo 16 mil metros cúbicos de lodo y alrededor de 2 mil metros cúbicos de basura.

Después de una fuerte lluvia, el canal río Salitre llega a aumentar su lámina de agua considerablemente como se observa en la Figura 2, arrastrando con si gran cantidad de sedimentos y objetos a su paso.

²⁹ CASTRO, Vanesa. Toneladas de desechos fueron limpiados en el canal del río Salitre [en línea]. Bogotá D.C. El Tiempo, 20, septiembre, 2012. [Consultado: 3 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12240515>.

Figura 2. Canal río Salitre durante un día de lluvia.



Fuente: Autor

Al siguiente día se realizó una fotografía como evidencia de los sedimentos que se depositan en el canal después de fuertes lluvias, como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Canal río Salitre a unos metros de la intercepción con la calle 80.



Fuente: Autor

La fotografía de la Figura 3 fue tomada en el mes de enero de 2019, en agosto del mismo año se tomó la fotografía de la Figura 4, donde el problema de los sedimentos se sigue presentando. Así ha estado por varios años, y esto es uno de los factores de los malos olores a lo largo del canal.

Figura 4. Canal río Salitre cerca a la Calle 80.



Fuente: Autor

Al recorrer el canal río salitre se logró identificar diversas problemáticas en donde la afectación principalmente es a nivel ambiental, esto debido a que una de las principales razones de contaminación del río Salitre son las descargas durante su recorrido de aguas sanitarias y/o material biodegradable, cambiando el concepto de una “cuenca hidrológica” como área de captación de solo agua lluvia a un concepto de “cuenca de alcantarillado”.

Figura 5. Aliviadero del canal Salitre en la calle transversal 56a con calle 72



Fuente: Autor

Cada uno de los vertimientos que hay a lo largo del canal aportan materia orgánica, sólidos suspendidos, coliformes totales y fecales y otro tipo de contaminantes provenientes de aguas residuales³⁰, un ejemplo de ello es la Figura 5, donde se logra observar la turbiedad del agua y su coloración más oscura comparada con el agua que se transporta en el canal, esto debido a las innumerables conexiones erradas que hacen que en el sistema sanitario al pluvial se originen vertimientos de aguas residuales al canal en periodos de estiaje.

³⁰ UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. Aunar esfuerzos técnicos, humanos, administrativos y económicos para la formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río salitre en el perímetro urbano del distrito capital. Bogotá, 2010.

En el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV-2007)³¹ de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P (EAAB) hay una descripción del impacto por cada vertimiento del río Salitre, este se realizó en 4 tramos, donde en tramos 1-2 prevalece el uso residencial de estratos 3,4 y 5, en la cuenca media (tramo 3) principalmente el uso es residencial con estratos 2, 3 y 4 con algunas zonas comerciales e industrial como lo es el barrio 12 de Octubre, que tiene una gran influencia debido al negocio de muebles, talleres y similares, y en el tramo 4 se identifica que en su mayoría es residencial y en algunas partes de estratos bajos que invaden laderas de la cuenca.

Tabla 1. Número de descargas y volumen mensual de agua vertida por tramo para la cuenca del río Salitre en Bogotá.

TRAMOS		NÚMERO DE DESCARGAS POR TRAMO	VOLUMEN POR MES (m ³ /mes)
1	Tramo 1 (Entrada perímetro urbano hasta Carrera 7a)	1	11,401.00
2	Tramo 2 (Carrera 7a hasta la Carrera 30)	2	206,608.00
3	Tramo 3 (Carrera 30 hasta la Avenida 68)	10	4,715,755.00
4	Tramo 4 (Avenida 68 hasta la desembocadura río Juan Amarillo)	5	177,067.00
TOTAL CUENCA			5,110,835.00

Fuente: Formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Salitre (Universidad Militar Nueva Granada y SDA 2010).

El tramo 3 es el que presenta mayor cantidad de descargas con un total del 92% de la cantidad total. El tramo de estudio está comprendido en este tramo

³¹ Ibid., p. 225.

3, colectores como los de la Figura 5 se observan varios en el recorrido que se está analizando para este trabajo de grado.

Aunque en este trabajo no evaluara el tramo del canal río Salitre antes de la Carrera 30 con Calle 72, es necesario conocer que pasa antes de este punto para poder saber porque el canal tiene el grado de contaminación una vez llega al punto de estudio, y otras características que nos puedan ayudar en el análisis de estudio de este trabajo.

El primer tramo, el canal toma el nombre de “canal abierto Barrio Paraíso”, que va desde arriba de la Circunvalar hasta la Carrera 7^a, donde solo tiene un numero de descarga de agua combinada, el impacto es mínimo por su baja carga contaminante y que no es continuo. La calidad de agua es aceptable, pues el tramo representa sólo el 0,029% de DBO y 0,027% de SST de la carga que es vertida al río ³².

En el segundo tramo la cuenca del río Salitre (Tramo 1), hasta la carrera 30 (Tramo 2), tiene dos puntos de descarga, el primero ubicado en la calle 45 con carrera 24 bajo la intersección con un impacto alto y la segunda sobre la diagonal debajo de la carrera 24 con un impacto medio, las cuales recogen las aguas combinadas del sector Galerías. Las aguas combinadas son resultado de posibles “conexiones erradas” e infiltraciones, término utilizado por empleados del Acueducto para referirse al vertimiento de aguas negras originadas en zonas residenciales e industriales ³³.

Según el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río salitre que se realizó por la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad Militar Nueva Granada, en este segundo tramo se encontró regular calidad visual del cuerpo de agua, la carga vertida en el tramo representa sólo el 11,9% de DBO y 14,12% de SS de la carga vertida al río ³⁴.

³² Ibid., p. 228.

³³ Ibid., p. 228.

³⁴ Ibid., p. 230.

Luego en el tercer tramo, el cual va desde la Carrera 30 hasta la Av. 68, se encuentran 13 puntos de vertimientos, 10 de aguas combinadas y 3 de agua residual, al finalizar el tramo hay dos puntos de alto impacto, el colector La Vieja que está ubicado en la carrera 38 con calle 70 y el canal río Negro que está ubicado en la Av. Carrera 8 con Calle 80, en el tramo se notó una mala calidad visual del cuerpo de agua, la carga vertida en el tramo representa el 84,4% de DBO y 84,1% de SST de la carga vertida al río³⁵.

El último tramo cuenta con un total de 10 puntos de vertimientos, todo de aguas combinadas en su mayoría por conexiones erradas, en este punto el impacto es bajo comparado a los otros puntos críticos que se encuentran en los tramos 2 y 3, pertenecientes a la cuenca alta y media del río donde el sistema de alcantarillado está consolidado como combinado³⁶.

El mal funcionamiento de los alivios hace que los vertimientos en los canales abiertos en periodos de sequía generen un mal aspecto de estos como se observa en la Figura 5. Conexiones erradas de aguas residuales al sistema pluvial son mucho menores y esto es uno de los orígenes, el menor, del mal aspecto del canal en periodos de sequía.

Una combinación permanente de las aguas residuales y del sistema de aguas lluvias, hace que las redes de alcantarillado funcionen como un sistema combinado. La solución ideal sería que el agua residual fuera conducida directamente a lo que sería el sitio de tratamiento y en caso de que sea vertido al canal, pase por un proceso de tratamiento de tal manera que la calidad mejore.

2.2 CALIDAD DEL AIRE EN EL CANAL RÍO SALITRE

Para evaluar la calidad de aire se estudió la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB), con 4 estaciones cercanas al canal río Salitre; Usaquén (Bosque), Las Ferias (Carrefour Calle 80), Ministerio de Ambiente (Sagrado Corazón) y Centro de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolívar

³⁵ Ibid., p. 230.

³⁶ Ibid., p. 233.

/IDRD). Donde se analizó las concentraciones de PM₁₀, Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Ozono troposférico (O₃).

2.2.1 Material Particulado Menor a 10 Micras (PM₁₀)

El PM₁₀ representa “la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, algunas de las fuentes de emisión de estas partículas pueden ser móviles y fijas procedente de procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías”³⁷.

Según la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB)³⁸ la concentración promedio de PM₁₀ en el año 2016 para la cuenca del río Salitre osciló entre 42 y 34 µg/m³ (ver Tabla 2), el valor permisible anual promedio para PM₁₀ fue de 50 µg/m³. Aunque ninguna de las estaciones sobrepaso este valor, si se colocó en la tabla los valores de 2015 para dejar evidencia del incremento que tuvo del año 2015 al año 2016.

Tabla 2. Promedios anuales de PM₁₀ µg/m³ para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.

ESTACIÓN	PROMEDIO PM ₁₀ (µg/m ³) 2015	PROMEDIO PM ₁₀ (µg/m ³) 2016
Usaquén	30	42
Las Ferias	35	40
Centro de Alto Rendimiento	28	35
Ministerio de Ambiente	34	34
Norma Anual	50 µg/m³ valor máximo permisible anual	

³⁷ RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ. Informe Anual De Calidad del Aire en Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá D.C. 2016.

³⁸ Ibid., p. 27.

Fuente. Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) – Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) 2016. $\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramo por metro cubico.

2.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

El CO es “un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre”³⁹.

Según la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB)⁴⁰ la concentración 8 horas de CO en el año 2016 para la cuenca del río Salitre fue medida únicamente con la estación del Centro de Alto Rendimiento que tuvo una representatividad temporal mayor al 75% con un valor de 0.9 mg/m^3 , el valor permisible de concentraciones 8 horas de CO corresponde a 10 mg/m^3 (ver Tabla 3). La estación Usaquén tuvo un valor de 0.5 mg/m^3 para el 2015 y las Ferias solo tuvo un valor de representatividad del 71% con un valor registrado promedio 8 horas anual de CO de 0.8 mg/m^3 .

Tabla 3. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.

ESTACIÓN	PROMEDIO CO (mg/m^3) 2015	PROMEDIO CO (mg/m^3) 2016
Usaquén	0.5	N.A
Las Ferias	N.A	0.8
Centro de Alto Rendimiento	0.8	0.9

³⁹ Ibid., p. 84.

⁴⁰ Ibid., p. 91.

Ministerio de Ambiente	N.A	N.A
Norma Anual	10 mg/m³ por cada 8 horas de concentración	

Fuente. Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) – Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) 2016. mg/m³: miligramo por metro cubico.

Aunque ninguno tuvo un valor que superara al valor máximo que registra la norma, si es necesario que se puedan hacer mediciones en las otras estaciones para poder llegar a realizar un análisis más detallado y poder llevar un seguimiento de la zona al canal río Salitre.

2.2.3 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El NO₂ “es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO₂ participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O₃) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias”⁴¹.

Solo una estación, la estación del Centro Deportivo de Alto Rendimiento que registro un promedio de 33 µg/m³ para el año 2016 (ver Tabla 4), esta estación tuvo una tasa de representatividad temporal mayor al 75 %, la norma anual nacional es de 100 µg/m³. Las demás estaciones no registraron valores para este año, las Ferias tiene un registro de concentración Promedio NO₂ del año 2015 con un valor de 41 µg/m³, ninguna de las estaciones que se encuentran dentro del área del canal río Salitre sobrepasan los niveles límites permisibles de este gas⁴².

Tabla 4. Promedios anuales de NO₂ µg/m³ para los años 2015 y 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.

⁴¹ Ibid., p. 65.

⁴² Ibid., p. 66.

ESTACIÓN	PROMEDIO NO ₂ (µg/m ³) 2015	PROMEDIO NO ₂ (µg/m ³) 2016
Usaquén	N.A	N.A
Las Ferias	41	0.8
Centro de Alto Rendimiento	33	32
Ministerio de Ambiente	N.A	N.A
Norma Anual	100 µg/m³ máximo permisible de NO₂	

Fuente. Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) – Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) 2016. µg/m³: microgramo por metro cubico.

2.2.4 Ozono Troposférico (O₃)

El Ozono troposférico “es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el ozono estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este Ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar”⁴³.

Según el estudio de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB)⁴⁴ los valores promedios entre las 4 estaciones que se encuentran en la cuenca del canal río Salitre están entre 38 y 25 µg/m³ por 8 horas (ver Tabla 5). El mayor porcentaje de excedencias se presenta en la estación

⁴³ Ibid., p. 50.

⁴⁴ Ibid., p. 61.

Usaquén y CDAR respecto a la cantidad total de valores que se tomaron, la norma determinada para concentraciones de Ozono troposférico fue de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por 8 horas.

Tabla 5. Promedios anuales, excedencias norma de O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2016 en las 4 estaciones de la RMCAB ubicadas dentro de la cuenca del río Salitre.

ESTACIÓN	PROMEDIO ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EXCEDENCIAS NORMA (8H) 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PORCENTAJE DE EXCEDENCIAS
Usaquén	38	246	2.9
Las Ferias	23	57	1.8
Centro de Alto Rendimiento	25	153	2.0
Ministerio de Ambiente	25	28	0.3

Fuente. Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB) – Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) 2016. $\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramo por metro cubico.

2.3 PERCEPCIÓN AMBIENTAL

La comunidad que vive a los alrededores del canal el Salitre y que frecuentan su paso por este, se han visto afectadas en múltiples ocasiones por la contaminación que existe en el canal.

Como consecuencia de la contaminación, la comunidad ha presentado enfermedades respiratorias agudas (ERA), según un registro del 2006 de menores de 5 años atendidos por ERA en los 4 hospitales que se encuentran en la cuenca del río salitre, se atendieron más personas en la localidad de Suba y Engativá⁴⁵.

⁴⁵ Ibid., p. 134.

Los olores son de las quejas más frecuentes que hace la comunidad respecto al canal el Salitre, en una breve entrevista que se le realizó para este proyecto a algunos habitantes de la cuenca del río Salitre en los tramos de estudio de este proyecto las personas manifestaron tener que usar tapabocas y cerrar las ventanas de sus viviendas, aún más en temporadas secas.

Según Vargas⁴⁶, se realizó una reunión entre la comunidad de Barrios Unidos y funcionarios de la EAAB el día 16 de agosto de 2011, la empresa manifestó que el problema importante está en el mal manejo de la basura por algunos sectores de la comunidad, arrojando residuos sólidos al canal afectando la capacidad hidráulica, riesgos de inundación y generando malos olores (ver Figura 6). Ese mismo día, algunos miembros de la comunidad que asistieron a la reunión expresaron los mismos problemas que las personas que se les preguntó sobre la percepción que tenían sobre el río Salitre, como malos olores, inundación de viviendas y locales o insatisfacción con el costo y la duración de las obras.

⁴⁶ VARGAS LAMPREA, Andrés Enrique. Representaciones del agua en la cuenca del río Salitre: derechos ambientales y demandas sociales. Tesis de Maestría. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Derecho Ciencias Políticas y Sociales. 2012. 64 p.

Figura 6. Canal río Salitre con desechos en sus orillas.



Fuente: Autor

En cuanto obras de mejoramiento, lo único que se observa es que la EAAB ha estado realizando operación de limpieza para remover lodos y basura que se está acumulando en el fondo del canal (ver Figura 7) , pero aun así se logra ver como en puntos este lodo se seca en temporadas secas produciendo un mal olor (ver Figura 4).

Figura 7. Trabajos de limpieza en el Canal río Salitre



Fuente: Autor

3. PROPUESTA DE UN CANAL URBANO VERDE PARA EL TRAMO EN ESTUDIO

El Canal río Salitre ha demostrado lo que son los problemas tradicionales de una “infraestructura gris”, como lo son la contaminación del aire, inundaciones, malos olores, entre otros (ver p. 33). Es por esto que se recurre a la infraestructura verde la cual se ha considerado esencial y efectiva como forma de promover mejores ecosistemas y una mejor salud para las comunidades en áreas urbanas, es por esto que se proponen como parte de la solución a los problemas.

En este capítulo se presentan las propuestas de solución para el canal de manera tal que sea un canal urbano verde con el uso de infraestructura verde en corredores urbanos y espacios verdes, donde el efecto de esta restauración permita mejorar la calidad del aire y pueda tener un hábitat para especies que suelen vivir en el río e incluso eventualmente hasta una mejora en su funcionamiento, las propuestas que se realizan se basan también en propuestas de renovación de otras corrientes que han sido recuperadas en metrópolis de países de primer mundo donde ya hace unas décadas se dieron cuenta la importancia de los ríos para la comunidad.

Además de la propuesta del uso de infraestructura verde también se hace una propuesta de como la sección del canal podría modificarse en búsqueda de una mirada más holística, donde se aprovechen más los espacios para hacer una integración de las partes que se ven involucradas en un canal urbano.

3.1 INFRAESTRUCTURA URBANA ECOLÓGICA PARA EL CANAL RÍO SALITRE

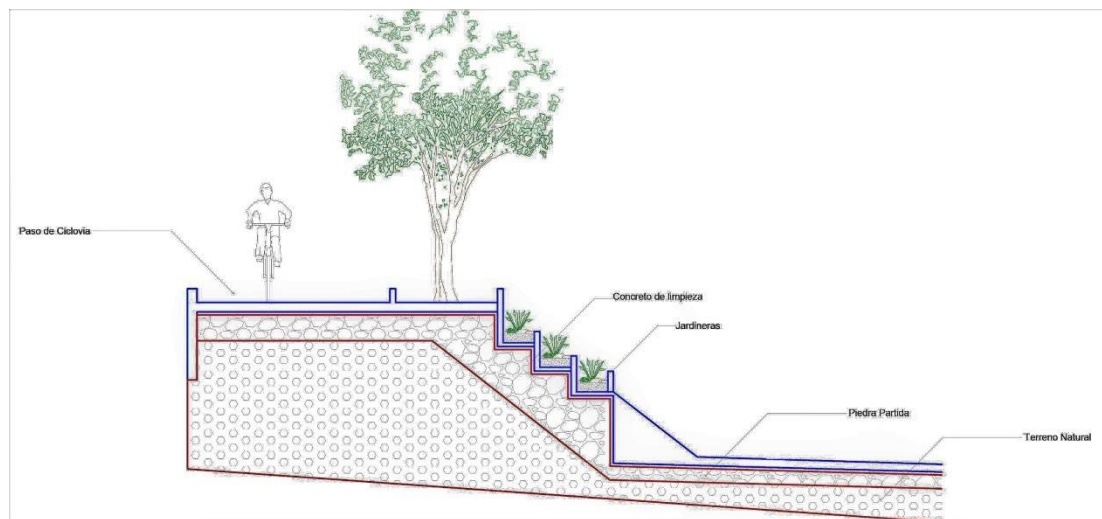
La IUE, según Feng Li et al⁴⁷ consiste en lo que se denominan espacios azules, espacios verdes, espacios grises, salidas y arterias, cada una de estas conectadas permiten que haya una reducción de los problemas que el canal

⁴⁷ LI, Feng, LIU, Xusheng, ZHANG, Xiaoling, ZHAO, Dan, LIU, Hongxiao, ZHOU, Chuanbin, WANG, Rusong. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. En: Journal of Cleaner Production. Febrero, 2016. vol. 163, p. 12-18.

río Salitre presenta. La IUE a comparación de la infraestructura gris es menos costosa, es una combinación tanto “rígida” como “flexible”, multifuncional, una integración de ecosistemas y resiliente.

Por eso para el canal se plantea una propuesta (ver Figura 8) que integre estos espacios de tal manera que los problemas que presenta el canal el río Salitre puedan ser resueltos en su mayoría, esta propuesta se hace fundamentalmente en darle vida de nuevo al río Salitre y enfocado en la parte ambiental junto con la aprovechamiento de espacios para la comunidad pero además dar un mejor aspecto a la ciudad con la renovación, cada uno de los elementos que se plantean se especificara con más profundidad en los siguientes capítulos.

Figura 8. Propuesta de renovación urbana en el canal río Salitre.



Fuente: Autor

3.1.1 Espacios Verdes para el canal río Salitre

Según el Informe Nacional De Calidad Ambiental Urbana⁴⁸, Bogotá tiene una necesidad de superficie de área urbana verde por habitante recibiendo así una

⁴⁸ Informe Nacional de Calidad Ambiental Urbana: Áreas urbanas con población superior a 500.000 habitantes. Bogotá D.C. Diciembre, 2015, vol. 1. ISSN 2500-6142.

puntuación de 0,3 sobre 1 con tan solo 3,9 m² por habitante. Además, según un informe del Observatorio del espacio público de Bogotá⁴⁹ la ciudad tiene 0,17 árboles por habitante, es decir 1 árbol por seis personas, lo cual es bajo para la medida que según la Organización Mundial de la Salud debería ser de 0,33 árboles por habitante.

Al tener corredores verdes, parques verdes, zonas peatonales verdes y techos verdes se logra formar una red que conecte a las personas con la naturaleza, además de proveer múltiples beneficios para las personas, extendiéndolo a toda la población, en el canal río Salitre se deberán tomar varias acciones para proveer esta red.

La primera será la creación de zonas verdes que a través de una tubería lleven aguas lluvias a unos escalones que se asemejan a corredor natural o una zona de pequeño humedal en áreas que sean posibles, estas zonas ayudaran a que la fauna se integre más así como la mejora de la calidad de agua que llega al canal río Salitre debido a la infiltración y tratamiento natural del suelo por este paso, esto se plantea como unos escalones (ver Figura 8) que no solo permitan generar todo esto si no también sirvan para disminuir el volumen de agua que llega al canal en temporada de lluvia.

Estos escalones que se proponen también permitirán que las personas se puedan integrar con el canal aprovechando estas zonas verdes como esparcimiento y zonas de descanso con bancas en algunos lugares del canal.

La siguiente acción será mejorar el recubrimiento en algunas zonas donde solo vaya recubrimiento en concreto o roca (ver Figura 9) con elementos naturales y vegetación para darle un aspecto más natural al canal y aprovechar estas zonas (ver Figura 10). Además, en zonas donde las paredes sean de concreto deberán ser adecuadas para que soporten vegetación.

⁴⁹ Reporte técnico de indicadores de espacio público 2017. Bogotá D.C. Diciembre, 2017. vol. 1.

Figura 9. Recubrimiento en Roca del canal río Salitre.



Fuente: Autor

Otra acción importante es la de crear zonas que incluyan humedales y piscinas en zonas determinadas donde se puedan realizar. Modificaciones del canal como el retiro de concreto, excavación para crear estas zonas, estabilización del canal con rocas, y vegetación de la zona que sea incluida.

Figura 10. Render del proyecto Cheonggyecheon en el 2003.



Fuente: Newsworld, Seould, Korea.

Este es el estado actual del río de Los Ángeles en Estados Unidos (ver Figura 11), muy similar al río Salitre en las dimensiones de sección que este tiene en algunos kilómetros del canal y su canalización en concreto en los 90s fue con el mismo propósito que en el río Salitre, proteger a los residentes y propiedades de inundaciones.

Figura 11. Río de Los Ángeles, California, Estados Unidos (izquierda) y Canal río Salitre en la calle 78 con Transversal 56ª (derecha)



Fuente: www.inhabitat.com y Autor

Hace algunos meses se publicaron algunas renderizaciones que se proponen para la restauración del río de Los Ángeles (ver Figura 12), se observa como los espacios verdes llegan a ocupar más área en el canal y se logra apreciar cómo se integran las personas en el proyecto. Otro aspecto para mejorar en el canal río Salitre es que las áreas verdes que hay en el canal deberían ser usadas como espacios verdes, con las mejoras de las otras acciones propuestas estas zonas se pueden usar como parques de barrio o zonas que puedan ser usadas como recreación para que el público disfrute de estos. Al utilizar estos espacios se busca que se genere menos carga financiera a las localidades en la construcción de un nuevo espacio que por lo general requiere la compra costosa de propiedades privadas en las áreas urbanas.

Figura 12. Renderización de la restauración del río en Los Ángeles



Fuente: Studio MLA/KG&A

Este mismo planteamiento es el que se propone para la restauración del río Salitre junto con otros espacios, donde todo esto en conjunto convierta el canal en un canal urbano verde con ingeniería civil del último siglo donde sea una propuesta revolucionaria, y los canales son perfectos para desarrollar espacios e infraestructura verde.

3.1.2 Espacios Azules para el canal río Salitre

En los espacios azules el principal protagonista es el río y las zonas como humedales y lagos que se lleguen a crear que aumentan la conexión de los organismos, como ya se mencionó por ejemplo la creación de estos escalones que lleven el agua retenida a través de una tubería de nuevo al río podrá mejorar el proceso de purificación del agua y restauración ecológica

Por otro lado, la recuperación de humedales y como tal del canal río Salitre podría llegar a permitir una biodiversidad acuática y proporcionar hábitat. Un

buen estudio que permita incluir estos espacios en zonas estratégicas ayudara a un control del clima y un embellecimiento del paisaje se puede lograr.

Figura 13. Áreas para biodiversidad de aves y vida acuática en el canal río Cheonggyecheon.



Fuente: Alexander Robinson

Como protagonista de la renovación es importante que la comunidad tome conciencia y se realice un plan de concienciación para que este espacio sea cuidado y no le sea arrojada más basuras deliberadamente como se hace hasta el momento, como “esponja” juega este lugar un importante espacio para la ciudad como papel en la filtración de agua, retención, almacenamiento, purificación y drenaje.

3.1.3 Espacios Grises para el canal río Salitre

Con la cantidad de área construida se ha incrementado el riesgo de inundaciones, como la recarga de aguas subterráneas y el flujo base de las cuencas, por lo que estas cuencas altamente urbanizadas a los alrededores tendrán una mayor probabilidad de inundación en época de lluvias⁵⁰. Globalmente existe un total de 580,000 km² de superficies impermeables⁵¹, entendiéndose superficies impermeables como carreteras, calles, las aceras, y en general toda superficie construida con concreto o asfalto que tienen un gran impacto a nivel mundial ya que bloquean el intercambio de aire, agua y nutrientes entre suelos y la atmósfera, lo que afecta significativamente a las zonas urbanas.

La integración de las zonas grises se debe hacer de manera inteligente, utilizando pavimento permeable, jardines colgantes y techos verdes como método para mitigar los efectos negativos de pavimentos impermeables, y han sido demostrados ser una herramienta efectiva para la conservación del agua, aguas pluviales gestión de escorrentía y calidad del agua, control de contaminantes, ahorro de electricidad, provisión de hábitat para la vida silvestre y la función del suelo⁵².

⁵⁰ Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., y Upegui, E. Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Tomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. En: Ambiente y Desarrollo. 2019. vol. 23. No. 44.

⁵¹ LI, Feng, LIU, Xusheng, ZHANG, Xiaoling, ZHAO, Dan, LIU, Hongxiao, ZHOU, Chuanbin, WANG, Rusong. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. En: Journal of Cleaner Production. Febrero, 2016. vol. 163, p. S12-S18.

⁵² Ibid. S15

Figura 14. Plan parcial de renovación urbana proyecto NOA_propuesta urbana.



Fuente: Plan parcial de renovación urbana NOA.

Estos espacios grises donde también se incluyen bancas para las personas entre otros elementos deben ser pensados de manera inteligente para incluir a la sociedad en la integración de estos tres elementos que forman la infraestructura urbana ecológica del canal de manera que haya una convivencia armoniosa y sea esta inclusión algo positivo para estos elementos y no llegue afectar su funcionamiento de ninguna manera negativa.

4. DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO DEL CANAL RÍO SALITRE

Hoy en día contamos con diferentes herramientas que nos ayudan en análisis de estructuras para evaluar su desempeño y así poder predecir su comportamiento antes de su ejecución, analizar factores externos, su comportamiento durante la construcción o simplemente analizar cómo se comporta bajo ciertas condiciones. Con la ayuda del software HEC-RAS se busca evaluar el comportamiento del canal y compararlo con una propuesta de sección que se plantea para la renovación del canal río Salitre, revisar como velocidades y alturas de lámina de agua se comportan con un periodo de retorno de 20, 50 y 100 años. Y analizar si la propuesta puede llegar a mejorar el desempeño hidráulico de la estructura y consecuentemente mejorar algunos problemas ambientales que esta presenta.

4.1 TOPOGRAFÍA

Para agregar datos al software y hacer el respectivo análisis debemos tener datos de la sección del canal río Salitre, en este caso entre la calle 72 y la calle 80 (ver Figura 15), con una distancia aproximada entre calles de 1310 metros este será el tramo de estudio que analizaremos en el software. Ya que en la biblioteca de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá no se logró encontrar información concreta de las secciones del canal, se tomó la decisión de realizar la topografía para tener datos más precisos para el desarrollo de este trabajo, en los anexos se colocarán cada una de las secciones del canal que fueron levantadas en campo.

Figura 15. Tramo del Proyecto



Fuente: Google Maps 2019

La topografía se realizó con una poligonal cerrada, se asumió una altura sobre el nivel del mar de 2600 metros con unas coordenadas iniciales de 10.000 en el eje X y 20.000 en el eje Y. Se realizó un recorrido por el canal para definir los deltas y revisar que hubiese visual (ver Figura 16), luego se procedió al armado de la estación total y su configuración (ver para cuando se exportara la información a AutoCAD se pudiese identificar claramente los puntos y poderlos unir para generar el canal, se decidió colocar 5 deltas y dos auxiliares para la poligonal y se verifico al final la precisión con la que cerro para confirmar que se hizo correctamente.

Figura 16. Marcación de deltas, armado y configuración de estación total.



Fuente: Autor

Figura 17. Toma de datos con estación topográfica y prisma.



Fuente: Autor

Las secciones que se tomaron fueron cada una a 25 metros, obteniendo en total 46 secciones en el tramo de estudio procurando realizar lo más detalladamente posible la toma de puntos de la sección para tener una sección lo más precisa posible, además se hizo el levantamiento topográfico en los lugares donde se notaba visualmente un cambio de sección o de ancho como por ejemplo en curvas y al final del proyecto, llegando a la calle 80, donde se nota claramente el cambio de sección del canal (ver Figura 18).

Figura 18. Toma de puntos en el canal Río Salitre cerca a la calle 80.



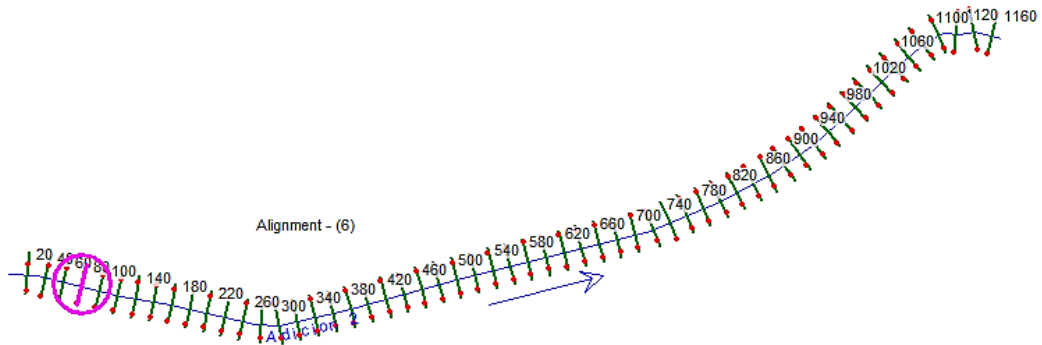
Fuente: Autor

4.2 MODELO DEL CANAL RÍO SALITRE EN HEC-RAS

Con la información obtenida por la topografía se exportó toda esta ya organizada al software AutoCAD Civil3D (ver Figura 20), donde se procedió a la creación de una superficie creada por las 46 secciones obtenidas en campo para su posterior exportación al software HEC-RAS para su modelación, donde se estableció trabajar en unidades SI (sistema internacional), definiendo posteriormente el sentido y luego el flujo del canal, una vez definido el sentido del canal se ingresan las secciones del canal, coeficiente de Manning que será verificado (ver cap. 4.2.2), puntos críticos de las secciones y finalmente los caudales que han sido calculados (ver cap. 4.2.1).

Con esa superficie creada se decidió dividir en secciones cada 20 metros para analizar mejor que sucede a lo largo del canal y verificar si hay algún gran cambio notable para analizarlo mejor.

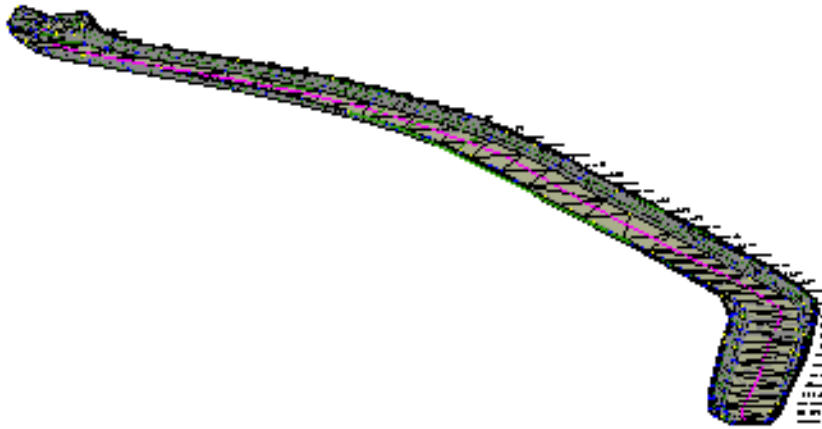
Figura 19. Alineación y secciones del canal río Salitre en HEC-RAS.



Fuente: Autor

Con toda esta información ya ingresada finalmente se obtuvo las velocidades y la altura de la lámina de agua del canal, con estos datos podremos analizar su comportamiento, además de compararlo con una geometría diferente que estará ligada con una propuesta de mejoramiento (ver cap. 2.3), y así sacar algunas conclusiones de cómo podría o no beneficiar este cambio de geometría aspectos hidráulicos de canal para resolver algunos problemas ambientales que este presenta.

Figura 20. Geometría del canal río el Salitre entre calle 72 y calle 80 en 3D.



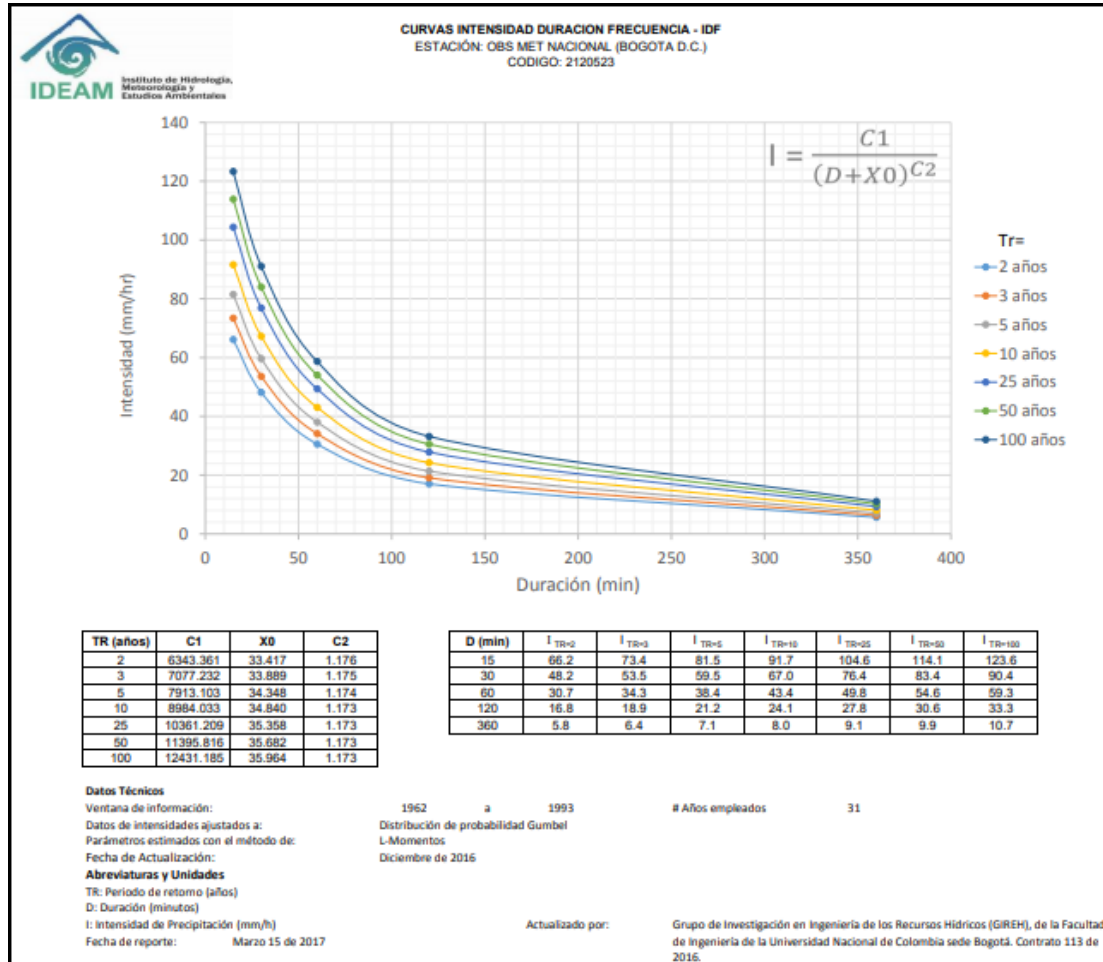
Fuente: Autor

4.2.1 Cálculo de caudales

Se aplicará el método racional para obtener los caudales por precipitación sobre el tramo de estudio del canal del río Salitre, para ello se utilizará una estación del IDEAM cercana a la cuenca para obtener algunos datos y así poder hacer uso del método racional determinando el caudal para tiempos de retorno de 50 años⁵³ debido a que es una obra de alcantarillado, con duraciones de 20, 30, 60, 90 y 120 minutos.

⁵³ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. 2 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 34 p. ISBN 958-80-6036-1.

Figura 21. Curva intensidad duración frecuencia-IDF estación-OBS Metropolitana Nacional (Bogotá D.C.) Código: 2120523.



Fuente: IDEAM

Tomando como referencia las normas de diseño de sistemas de alcantarillado de las empresas públicas de Medellín E.S.P se utilizará un coeficiente de escorrentía para concreto de 0.9⁵⁴. Por medio del software AutoCAD se determinó el área en m^2 de la zona de estudio para poder realizar el cálculo del caudal (ver Figura 22), la cual fue de 447,719.33 m^2 .

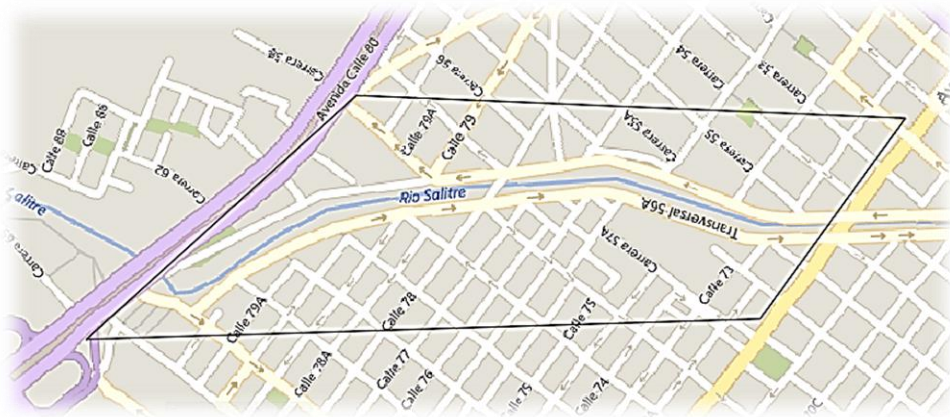
⁵⁴ Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. Colombia, 2013. 93 p.

Tabla 6. Datos requeridos para el método racional

C: Coeficiente de escorrentía	0.9
Área (m ²)	447719.33
TR: Periodo de retorno (años)	50 años
D: Duración (minutos)	20
	30
	60
	120

Fuente: Autor

Figura 22. Área utilizada para el cálculo del caudal.



Fuente: Autor

Para hacer uso de la ecuación del método racional (Ecuación 1) se revisaron los datos de intensidad de la estación del IDEAM (ver Figura 21), y por consiguiente usando los datos requeridos (ver Tabla 6), se procedió a calcular el caudal para el canal río Salitre, el área y coeficiente de escorrentía se mantuvieron constantes mientras que la intensidad variaba para cada uno de los tiempos de retorno.

$$Q = \frac{CIA}{3600000}$$

Ecuación 1 método racional

Donde:

Q= Caudal m³/s

C= Coeficiente de escorrentía

A= Área en m²

I= Intensidad mm/h

Luego de aplicar el método racional se obtuvo los valores de caudales de precipitación del canal (ver Tabla 7).

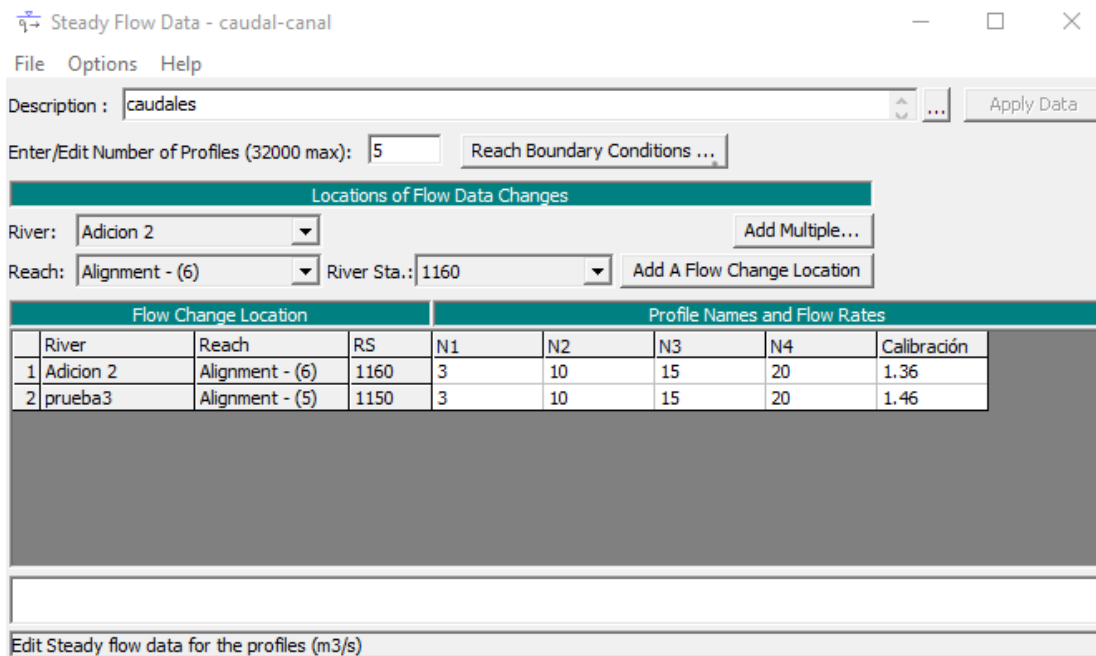
Tabla 7. Caudales por precipitación en el canal río Salitre entre calle 72 y calle 80.

TIEMPO DE RETORNO (años)	DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/h)	CAUDAL (m ³ /s)
50	20	102.099	11.43
	30	83.4	9.33
	60	54.6	6.11
	120	30.6	3.43

Fuente: Autor

De acuerdo los caudales calculados hallados por el método racional donde 3.43 m³/s es el mínimo y 11.43 m³/s es el mayor, se hará un análisis con caudales de 3,10,15,20 m³/s para tener un mayor rango de análisis además del caudal que se calculó en campo por el método del correntómetro (ver Tabla 8).

Figura 23. Caudales de análisis del modelo canal río Salitre en HEC-RAS.



Fuente: Autor

4.2.2 Verificación del modelo en HEC-RAS

Esta actividad se ha realizado con la finalidad de determinar un valor de n de Manning apropiado al proyecto, además de verificar que parámetros como velocidad y caudal que sean calculadas en HEC-RAS sean lo más precisas posibles respecto a las que se puedan registrar en campo, para esto primeramente se llevó a cabo un aforo con correntómetro.

El correntómetro o molinete (ver Figura 24) que gira en un eje por efecto de la corriente, y un imán que gira con ésta establece un contacto eléctrico que envía una señal a un contador de revoluciones que proporciona la velocidad de la corriente en el punto de medición. El correntómetro nos permite

determinar la velocidad de una corriente de agua, como en canales, alcantarillados, mares, ríos, entre otros⁵⁵.

Figura 24. Correntómetro o molinete



Fuente: globlw.com

Para el aforo realizado se han seguido algunas recomendaciones como las que da Marbello⁵⁶ para un aforo, inicialmente usando una cinta métrica se verificó el ancho superficial, debido a que el ancho supera los 20 metros (28.88 metros medidos en campo) se realizaron mediciones cada 2 metros iniciando de extremo a extremo.

Una vez definidas cada una de las verticales se inició la medición con el correntómetro en cada una a profundidad de 0.6 de la altura vertical de aforo (ver Figura 25) y registrando cada una de las medidas en una cartera para luego realizar los respectivos cálculos.

⁵⁵ MARBELLO PÉREZ, Ramiro Vicente. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 320 p.

⁵⁶ Ibid., p. 259.

Figura 25 Aforo del canal río Salitre con correntómetro



Fuente: Autor

En una hoja de calculo (ver Tabla 8), con los datos obtenidos en campo se calculo el area de influencia de cada una de las subsecciones en que se ha dividido el area mojada y que corresponden a cada una de las velocidades medidas.

Tabla 8. Datos y cálculos de Aforo por correntómetro, sección de verificación del modelo canal río Salitre.

Número de medición	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad media (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	1	0.20	0.06	0.20	0.01
3	4	2	0.13	0.09	0.26	0.02
4	6	2	0.18	0.09	0.36	0.03
5	8	2	0.23	0.12	0.45	0.05
6	10	2	0.27	0.24	0.54	0.13
7	12	2	0.31	0.21	0.61	0.13
8	14	2	0.35	0.18	0.70	0.13
9	16	2	0.38	0.21	0.76	0.16
10	18	2	0.42	0.15	0.84	0.13
11	20	2	0.46	0.18	0.91	0.17
12	22	2	0.42	0.09	0.83	0.08
13	24	2	0.38	0.15	0.76	0.12
14	26	2	0.35	0.18	0.70	0.13
15	28	2	0.31	0.12	0.62	0.08
16	28.88	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		28.44			8.55	1.366

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los caudales parciales en cada una de las subsecciones en que se dividió el área, la ecuación utilizada fue:

$$q_i = v_{mi}A_i$$

Ecuación 2 Caudales parciales

Con los caudales parciales, q_i , se calculó el caudal total de la corriente, así:

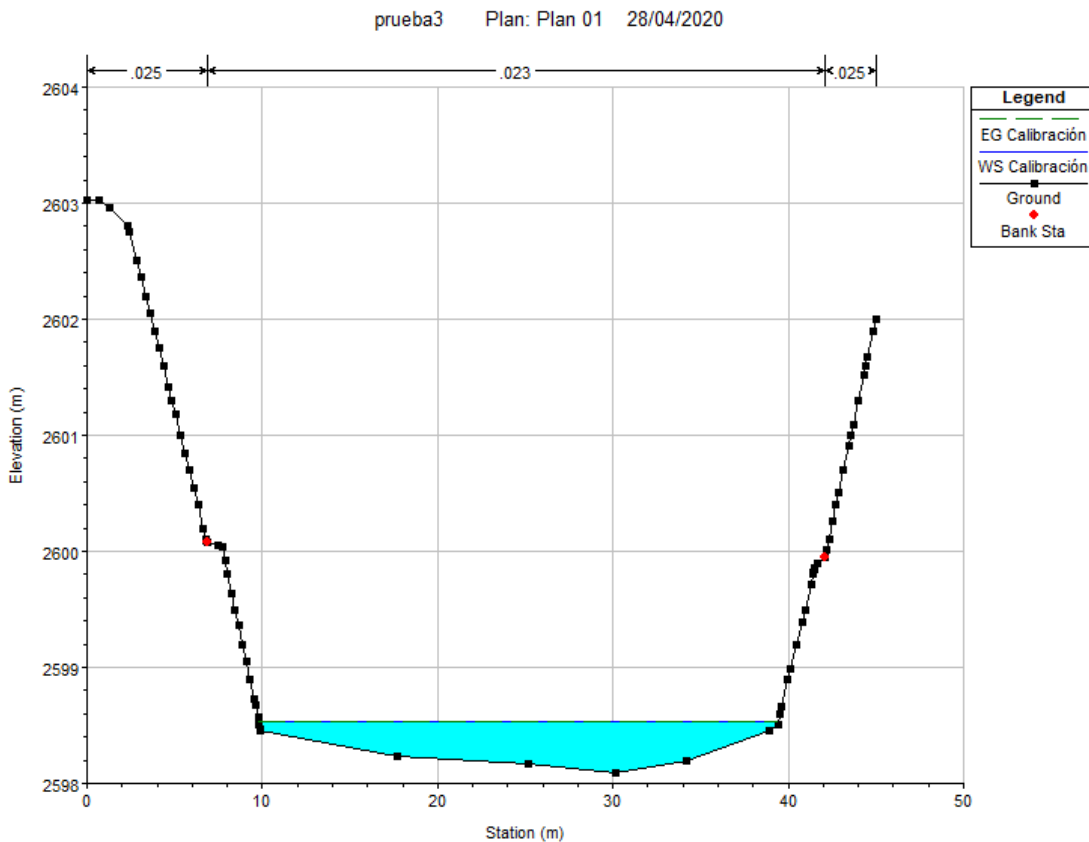
$$Q = \sum_{i=1}^k q_i$$

Ecuación 3 Caudal total de la corriente

Una vez obtenido el valor de caudal total de la corriente se insertó en el modelo hecho en HEC-RAS para realizar una comparación de los datos que arrojaba

el software con los medidos en campo recordando que una de las principales finalidades es introducir un n de Manning muy cerca al que se tiene en campo, para esto solo se analizó la sección en donde se realizó la medición por el método del correntómetro, la variable del n de Manning se fue variando hasta encontrar una donde los valores obtenidos en campo fuesen muy similares a los obtenidos por el modelo HEC-RAS (ver Figura 27).

Figura 26. Sección de verificación del modelo en HEC-RAS del canal río el Salitre.



Fuente: Elaboración propia

Con un caudal de 1.366 m³/s (ver Tabla 8), la sección de verificación tiene un área de flujo de 8.42 m², una velocidad de 0.16m/s y una profundidad máxima de 0.44 m, valores muy cercanos a los registrados en campo. Con base en estos resultados el número de Manning usado para la parte del canal revestido en concreto será de 0.023 y para la parte de los laterales del canal terminados

en mampostería con roca cementada un valor de 0.025, valores de referencia tomados del manual del libro de Chow “Hidráulica de canales abiertos”⁵⁷.

Figura 27. Resultados de la sección de verificación.

Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)
Calibración	1.36	2598.09	2598.53		2598.53	0.000074	0.16	8.42	29.53

Fuente: Autor

Los valores de n de Manning obtenidos serán los mismos en todas las secciones ya que en ningún momento hay un cambio de revestimiento a lo largo del canal, lo único que se ajustará será la diferenciación entre el recubrimiento en concreto y la mampostería terminada en roca que se ve demarcada por un punto rojo en la sección.

4.2.3 Resultados y análisis de resultados

En este capítulo verificaremos algunas secciones del canal actual importantes y se comparara con la sección que se propone, se analizaran las secciones con graficas de velocidad de flujo y alturas de la lámina de agua con los diferentes caudales previamente calculados (ver p.65) para el análisis del modelo. Los nombres dados a las secciones refieren a la ubicación en la que se encuentran en metros a partir del punto de partida de la topografía realizada que fue la calle 72 (ver p. 59).

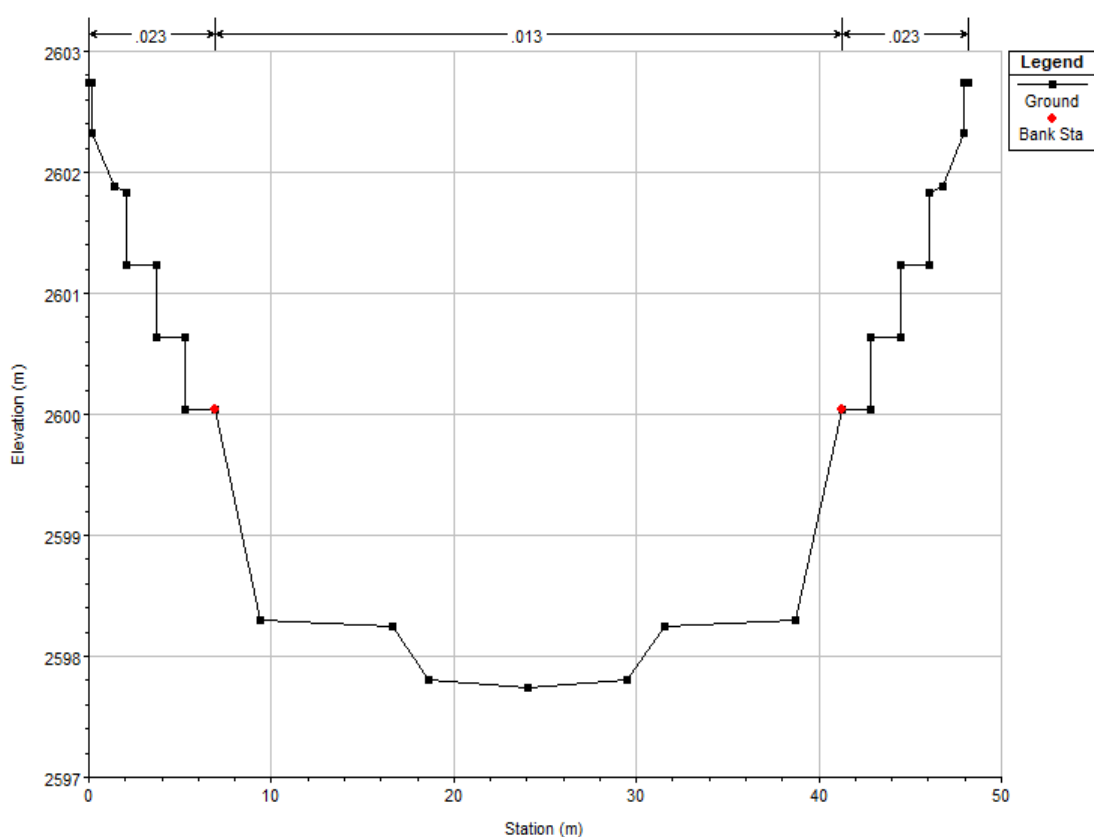
La sección que se propone también hace parte de la propuesta para mejorar la velocidad del canal y se hizo con el fin de que el arrastre de sedimentos mejore y eventualmente problemas como malos olores sean mitigados. La sección se diseñó siguiendo las recomendaciones que hace el Ingeniero López⁵⁸, como es el caso de los taludes que tienen una relación $1:1\frac{1}{2}$. El n de Manning

⁵⁷ CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Traducido por Juan G. Saldarriaga. Santafé de Bogotá.: McGraw-Hill, 1994. 109 p. ISBN: 958-600-228-4.

⁵⁸ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. 2 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 34 p. ISBN 958-80-6036-1.

será de 0.013 para la sección en concreto que es toda la abarcada después del punto rojo y 0.023 para el resto de la sección que lleva algo de vegetación en sus escalones y laterales.

Figura 28. Sección propuesta para el canal urbano verde río Salitre en la sección de estudio.

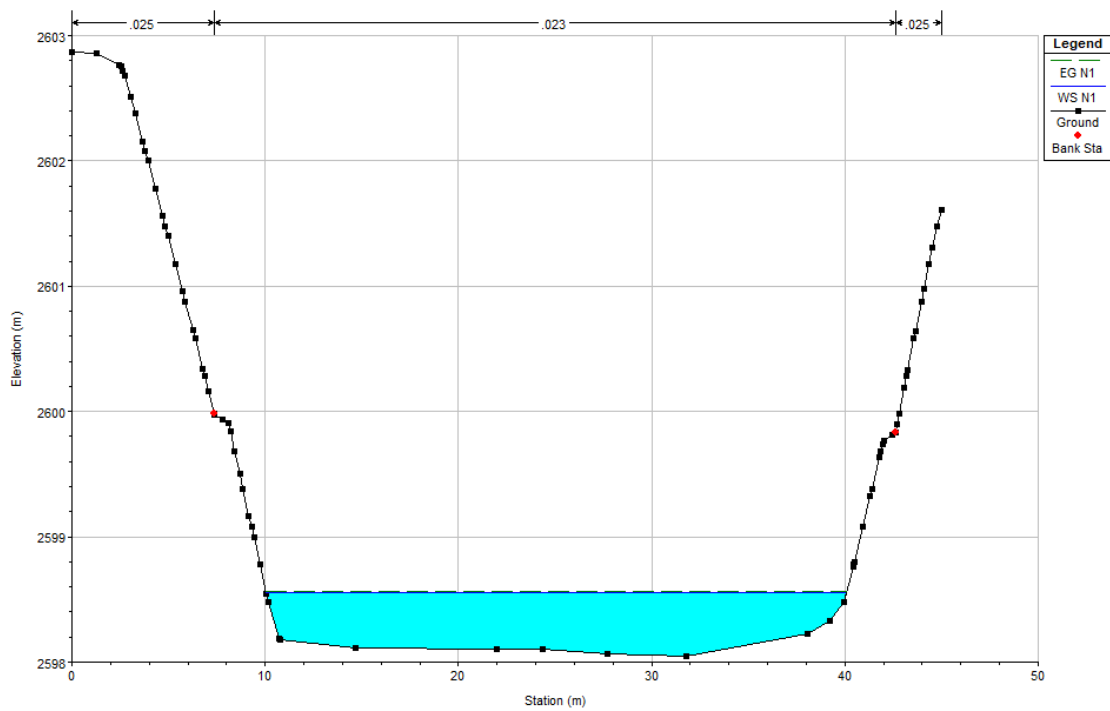


Fuente: Elaboración propia

Una de las partes más críticas en cuanto a velocidad en el canal es aguas arriba, en tiempos de sequía en ocasiones el nivel no es lo suficientemente alto y los sedimentos quedan en el fondo provocando malos olores o por que la velocidad no es suficiente.

Para una modelación con un caudal de $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtiene los siguientes resultados en la sección No. 120 del canal actual donde se muestra la altura de la lámina de agua (ver Figura 29).

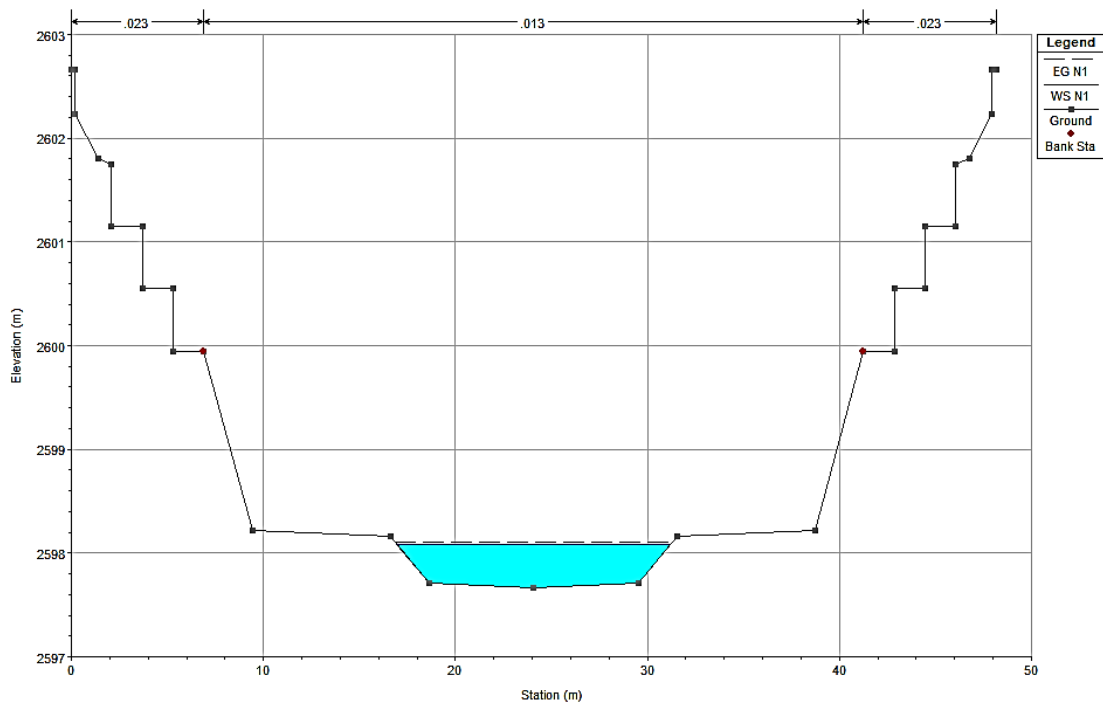
Figura 29. Modelación a 3 m³/s de la sección 120 del canal actual.



Fuente: Elaboración propia

Para una modelación con un caudal de $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtiene los siguientes resultados en la sección No. 120 del canal propuesto donde se muestra la altura de la lámina de agua (ver Figura 29).

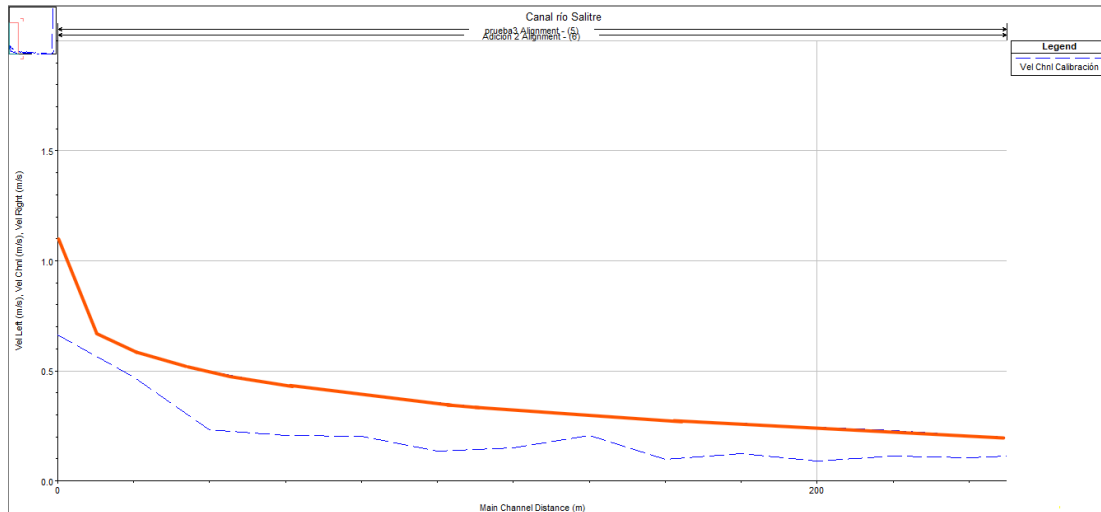
Figura 30. Modelación a 3 m³/s de la sección 120 del canal propuesto.



Fuente: Elaboración propia

En el canal propuesto (ver Figura 30) se logra ver que el área de flujo se limita a esta sección trapezoidal propuesta pensada especialmente para esos periodos de bajos caudales que son las condiciones en la que la mayor parte del tiempo se encuentra el canal. La grafica de velocidades en los primeros 200 metros muestra un significativo mejoramiento en la velocidad en el canal propuesto versus la sección del canal actual, permitiendo un mejor arrastre de los sedimentos (ver Figura 31).

Figura 31. Velocidad de flujo a 3 m³/s en 200 metros del canal propuesto (naranja) y del canal actual (azul).

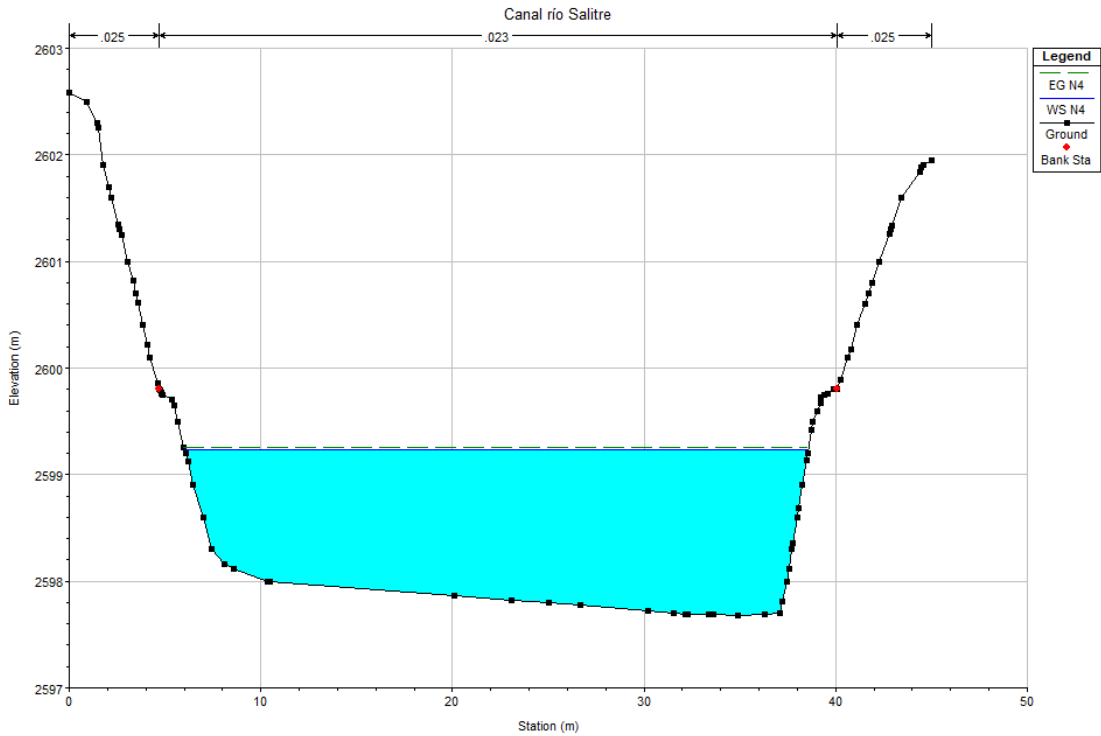


Fuente: Elaboración propia

Con un caudal de 3 m³/s en la sección 120 que se analizó, la velocidad en este punto paso de 0.23 m/s en la sección actual a 0.6 m/s en la sección propuesta, con un incremento casi de dos veces el valor de la sección actual se consigue que no solo el área de flujo se mantenga en caudales bajos en un área específica si no que la velocidad aumento permitiendo un mejor arrastre de los sedimentos.

Con los otros caudales analizados la lámina de agua sube considerablemente hasta el nivel de la sección revestida pero nunca llega a desbordarse o llega al nivel del borde libre, esto sucedo tanto con la sección actual como la propuesta.

Figura 32. Modelación a 20 m³/s de la sección 800 del canal actual.



Fuente: Elaboración propia.

No existe un gran cambio entre las demás secciones cuando el caudal es muy alto, como ya se analizó previamente con un caudal de 3 m³/s aguas arriba si existe este cambio entre la sección propuesta y la actual donde se explica el valor que tiene la sección propuesta frente a la actual.

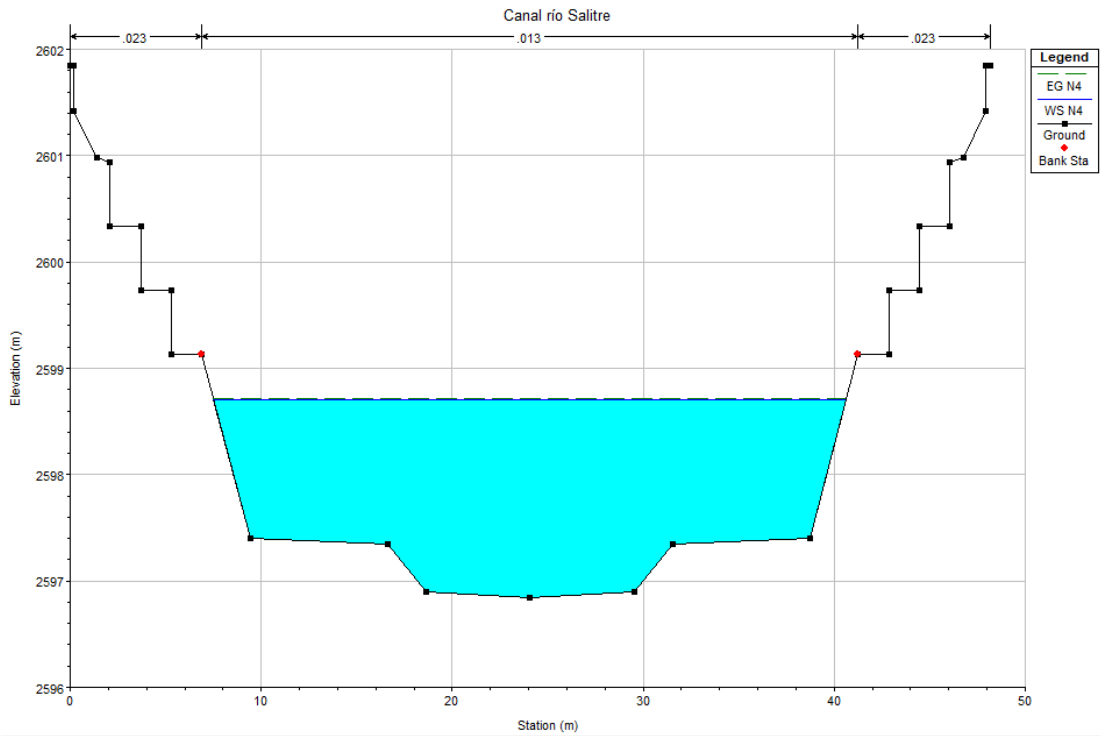
Figura 33. Canal río Salitre con nivel de agua casi completo de la sección revestida en el tramo de estudio.



Fuente: Autor

Para una modelación con un caudal de $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtiene los siguientes resultados en la sección No. 800 del canal propuesto donde se muestra la altura de la lámina de agua.

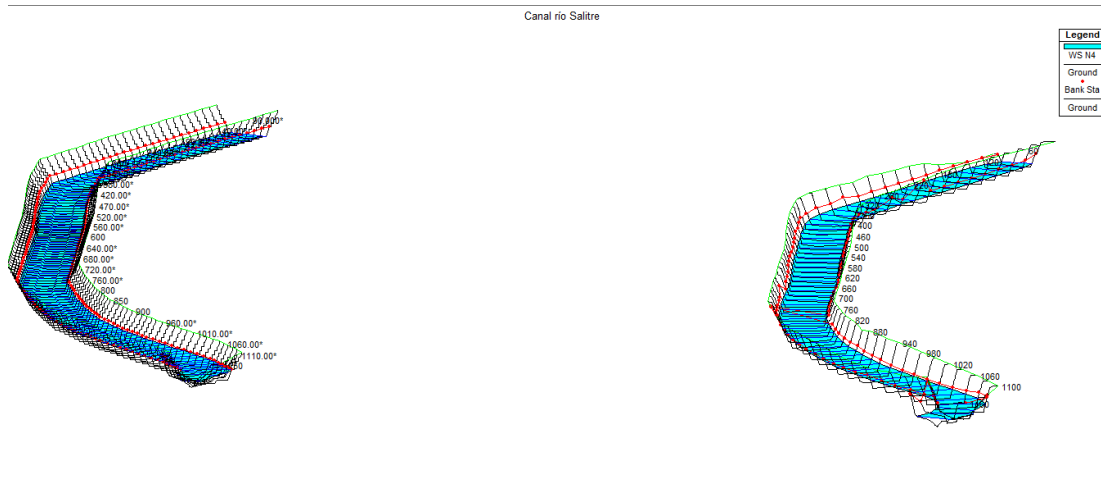
Figura 34. Modelación a 20 m³/s de la sección 800 del canal propuesto.



Fuente: Elaboración propia.

Una vista 3d de ambos canales nos permite ver como en ninguno se llega a presentar desbordamiento con el caudal máximo calculado.

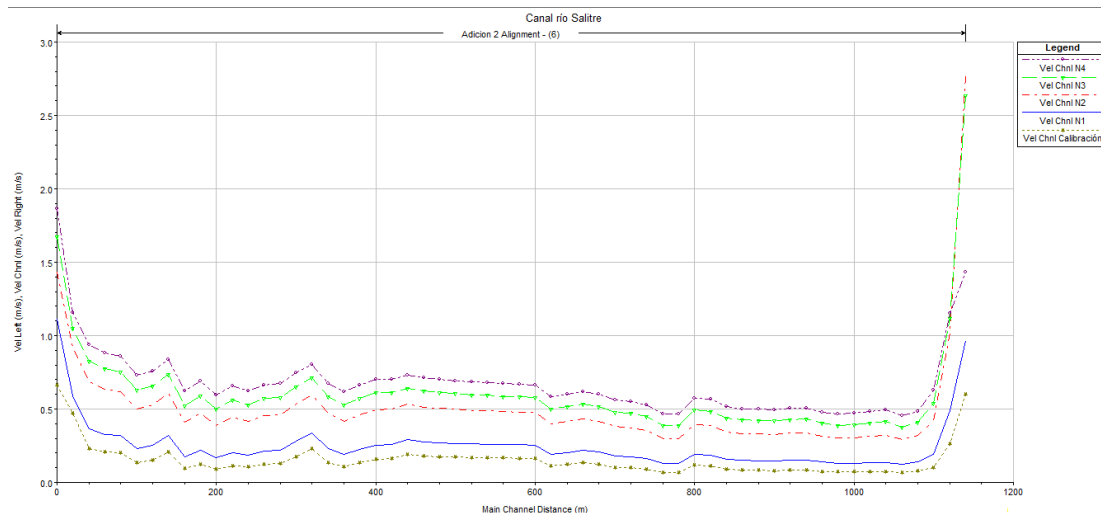
Figura 35. Vista 3d del canal propuesto (izquierda) y canal actual (derecha) en el tramo de estudio del canal río Salitre.



Fuente: Elaboración propia.

Para los caudales calculados en el canal actual las velocidades no presentan grandes variaciones, el único aumento considerable se presenta al terminar el canal donde su sección cambia justo en la calle 80.

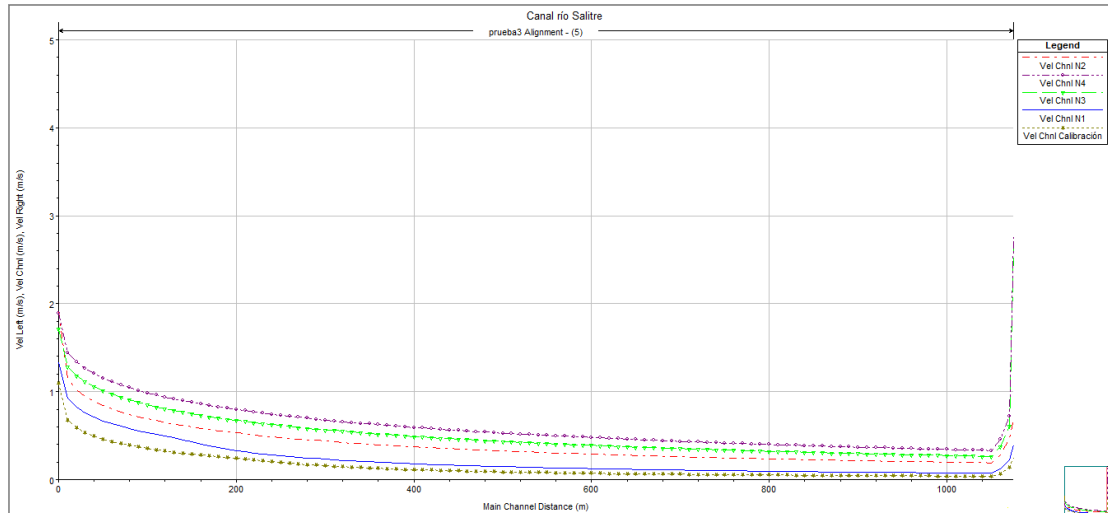
Figura 36. Velocidades con caudales calculados del canal actual en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración Propia

Con los mismos caudales en la sección propuesta se nota el incremento gradual que hay comparado el canal actual, de igual manera se incrementa la velocidad del canal en el último tramo por su variación de sección.

Figura 37. Velocidades del canal propuesto en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración Propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con la inspección técnica realizada en el tramo de estudio se logró determinar que el canal sigue presentando problemas de contaminación a lo largo de este, como se logra demostrar con artículos, reportes de estaciones de la contaminación en el aire en la cuenta del río e imágenes presentadas en el capítulo 2. Estos mismos problemas han presentado algunos canales que han sido rehabilitados en otros lugares como se mencionan en los antecedentes y con llevan a la conclusión de pensar en una ingeniería diferente e invertir en sistemas para la rehabilitación del canal, que, aunque no puedan devolver el estado natural de la corriente, pueda mejorarla, y problemas como las conexiones erradas que han afectado la calidad del agua del río sean corregidas. Como parte de estas medidas también es importante la instalación de los espacios verdes tanto en parte de la sección del revestimiento del canal y el borde libre como parte de la mitigación y de la restauración de su aspecto geomorfológicos e hidráulico.

Parte del proyecto e inclusión a es que la comunidad debe colaborar en el cuidado pre y post rehabilitación, la comunidad podrá evidenciar que este espacio no es solo para la recolección de aguas lluvias y eventualmente conexiones erradas, sino que también puede ser aprovechado como un espacio de recreación e incluso como zona turística una vez hecha la restauración a un corredor-canal urbano verde. En el desarrollo de futuros planes de renovación urbana en las zonas aledañas al canal río Salitre, es necesario que este sea tenido en cuenta para la renovación y pueda ser un canal urbano verde que junto con los elementos como estructura urbana ecológica pueda aportar a esta nueva urbanización siendo esta también planteada bajo el mismo concepto como inversión para el futura de la ciudad.

En la investigación no se encontró evidencia de inundación en el tramo de estudio y fue algo que el modelo realizado en HEC-RAS permitió evidenciar, pero se comprobó que para el proyecto de restauración es posible mejorar su sección, mejorarla para que en bajos caudales su velocidad aumente comparada a la sección actual y el arrastre de los sedimentos mejore, con el aumento de la velocidad que se logra donde se compara el modelo actual con uno propuesto donde se incluye todo el plan de rehabilitación se puede desde

la hidráulica ayudar al problema de sedimentos con miras de mitigar los malos olores.

5.2 RECOMENDACIONES

- Sera necesario hacer un estudio de la clase de vegetación más eficiente para su instalación en el canal y tener en cuenta las limitaciones que se puedan presentar en algunas zonas que se desean aplicar.
- Es importante que la Alcaldía Mayor de Bogotá se plantee la inversión de un plan total de toda la cuenca del río Salitre a un canal urbano verde como parte de renovación urbana para toda la ciudad antes de realizar una renovación zona a zona y termine siendo solo renovación de infraestructura “gris”.
- Existen zonas del canal que no están siendo aprovechadas, la mayoría de la cuenca puede ser convertida en un corredor urbano verde que incluya a las personas pero que también sea una solución de movilidad incluyendo el sistema más limpio como lo es la bicicleta.

BIBLIOGRAFÍA

- BAE, H., 2011. Urban stream restoration in Korea: Design considerations and residents' willingness to pay. *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 10, no. 2, pp. 119–126. ISSN 16188667. DOI 10.1016/j.ufug.2011.02.001.
- BRAUD, I., FLETCHER, T.D. y ANDRIEU, H., 2013. Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling. *Journal of Hydrology*, vol. 485, pp. 1–4. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2013.02.045.
- CASTRO, V., 2012. Toneladas de desechos fueron limpiados en el canal del río Salitre. *El Tiempo* [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12240515>.
- CHOW, V. Te, 1994. *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santafé de Bogotá, Colombia.: McGraw-Hill.
- DÍAZ ARTEAGA, A., GRANADOS, S. y SALDAÑA BARAJONA, A., 2014. Informe Nacional de Calidad Ambiental Urbana: Áreas urbanas con población superior a 500.000 habitantes. . S.l.:
- DIMAS, A.S. y NAVAS, D.G., 2012. El Carmelo: Historia de una antigua barriada bogotana en la cuenca del río Arzobispo (1900-1934). *Historia Crítica*, no. 47, pp. 161–186. ISSN 19006132. DOI 10.7440/histcrit47.2012.09.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P., 2009. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. *Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* [en línea], pp. 246. Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDiseñoSistemasAcueducto.pdf.
- LI, F., LIU, X., ZHANG, X., ZHAO, D., LIU, H., ZHOU, C. y WANG, R., 2017. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 163, pp. S12–S18. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.02.079. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.079>.
- LOCKHART, J., 2009. Green infrastructure: The strategic role of trees, woodlands and forestry. *Arboricultural Journal*, vol. 32, no. 1, pp. 33–49. ISSN 21681074. DOI 10.1080/03071375.2009.9747552.

- LÓPEZ CUALLA, R.A., 2003. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado* [en línea]. Segunda. S.l.: Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958-80-6036-1. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=QcAWPwAACAAJ&pgis=1>.
- MARBELLO PÉREZ, R.V., 2005. *Manual De Prácticas De Laboratorio De Hidráulica*. [en línea]. Medellín: s.n. ISBN 9781456220129. Disponible en: [http://bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte 13.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte%2013.pdf).
- MCMAHON, E.T. y BENEDICT, M.A., 2006. *Green Infrastructure: linking landscapes and communities*. S.l.: s.n. ISBN 1-59726-027-4.
- NIENHUIS, R.H. y LEUVEN, R.S.E.W., 2001. River restoration and flood protection: Controversy or synergism? *Hydrobiologia*, vol. 444, no. 1998, pp. 85–99. ISSN 00188158. DOI 10.1023/A:1017509410951.
- PÉREZ, D.F. y ZAMORA, D.A., 2015. Descripción Y Contexto De Las Cuencas Hídricas Del Distrito Capital (TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO). [en línea]. Bogotá D.C.: Disponible en: http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=698885eb-239e-4c23-89ca-99d18bef5865&groupId=586236.
- QUENGUAN LÓPEZ, L.F. y ARENAS BERNAL, J.L., 2017. Reporte técnico de indicadores de espacio público 2017. . Bogotá D.C.:
- SALAS PÉREZ, C., COY CASTRO, D., ACUÑA RAMÍREZ, K., PÁEZ CUERVO, L. y UPEGUI, E., 2019. Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, vol. 23, no. 44. ISSN 0121-7607. DOI 10.11144/javeriana.ayd23-44.cuis.
- SANDSTRÖM, U.G., 2002. Green infrastructure planning in urban Sweden. *Planning Practice and Research*, vol. 17, no. 4, pp. 373–385. ISSN 02697459. DOI 10.1080/02697450216356.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2016. Informe anual de calidad del aire de Bogotá. . Bogotá D.C.:
- SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, 2018. Monografías de las Localidades 2017. . S.l.:
- SETO, K.C., GÜNERALP, B. y HUTYRA, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 109, no. 40, pp. 16083–16088. ISSN 00278424. DOI 10.1073/pnas.1211658109.

SHIN, J.H. y CHUNG, J.Y., 2011. The four major rivers restoration project in south korea. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, vol. 164, no. 1, pp. 19–26. ISSN 0965089X. DOI 10.1680/cien.2011.164.19.

TIEMPO, E., 2008. Recorrido por el río Salitre hizo la secretaría Distrital de Ambiente para verificar su estado. [en línea]. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4376415>.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA y SDA, S.D. de A., 2010. FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO SALITRE EN EL PERÍMETRO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL. *Universidad Militar Nueva Granada*. Bogotá D.C.:

VARGAS LAMPREA, A.E., 2012. *Representaciones del agua en la cuenca del río salitre: derechos ambientales y demandas sociales*. [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7048/>.

WHEATER, H. y EVANS, E., 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, vol. 26, no. SUPPL. 1, pp. 251–264. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2009.08.019.

YEON HWANG, K., 2004. Restoring Cheonggyecheon Stream in the Downtown Seoul Seoul. *Seoul Development Institue*, no. 1, pp. 7.

ANEXOS

ANEXO A: Modelo del canal río salitre en software HEC-RAS

ANEXO B: Sección del tramo de estudio del río salitre en el en CAD